

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA**

**Instituto de Geociências e Ciências Exatas**

**Campus de Rio Claro**

**MODELO DE GERENCIAMENTO INTEGRADO DE RESÍDUOS SÓLIDOS  
URBANOS: UMA CONTRIBUIÇÃO AO PLANEJAMENTO URBANO**

Cássia Silveira de Assis

Orientador: Prof. Dr. Luiz Roberto Cottas

Tese de doutorado elaborada junto ao Curso de Pós-Graduação em Geociências, Área de Concentração em Geociências e Meio Ambiente, para obtenção do Título de Doutor em Geociências e Meio Ambiente.

Rio Claro (SP)  
2002

604.6 Assis, Cássia Silveira de  
A848m Modelo de gerenciamento integrado de resíduos sólidos urbanos: uma contribuição ao planejamento urbano / Cássia Silveira de Assis. – Rio Claro : [s.n.], 2002  
120 f. : il.

Tese (doutorado) – Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas  
Orientador: Luiz Roberto Cottas

1. Resíduos. 2. Geologia de engenharia. 3. Políticas públicas. 4. Resíduos domiciliares. 5. Resíduos de construção e demolição. I. Título.

Ficha Catalográfica elaborada pela STATI – Biblioteca da UNESP  
Campus de Rio Claro/SP

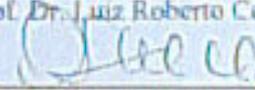
UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Instituto de Geociências e Ciências Exatas

Campus de Rio Claro

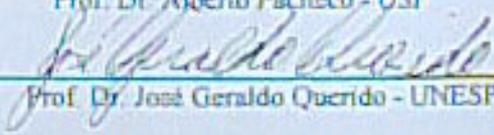
Comissão Examinadora

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Luiz Roberto Cortes - UNESP

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Omar Sinelli - UNESP

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Juécio Tavares de Mattos - UNESP

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Alberto Pacheco - USP

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. José Geraldo Querido - UNESP

  
\_\_\_\_\_  
Câmia Silveira de Amig

Rio Claro, 20 de agosto de 2002

Resultado: Aprovado - "com distinção"

## **DEDICATÓRIA**

A meu pai (in memorian)  
à Wilma, minha mãe  
ao Fábio  
ao Maurício  
à Camila e  
à Carolina

## AGRADECIMENTOS

Agradeço sinceramente a todos que direta ou indiretamente colaboraram na consecução desse trabalho;

Agradeço ao Prof. Dr. Luiz Roberto Cottas pela confiança e orientação precisa no desenvolvimento do trabalho;

Agradeço ao Márcio, meu marido e companheiro, pelo constante apoio e incentivo, além da troca permanente de idéias;

Agradeço ao Fábio, meu filho, profundo conhecedor da Língua Portuguesa, pela colaboração espontânea na revisão do texto;

Agradeço aos meus irmãos Cíntia, Cibele, Pedro Ivo e Carla, que sempre me apoiaram e me favoreceram com sua generosidade;

Agradeço ao Prof. Dr. Juércio Tavares de Mattos pelas discussões e sugestões na fase inicial do trabalho;

Agradeço ao Sr. Gentil Ribeiro Ferraz pelo exemplo de determinação e consciência ambiental no trato dos resíduos sólidos;

Agradeço a colaboração do Sr. Daniel Navarro Ortiz que realizou um bom trabalho fotográfico em grande parte das fotos que me permitiram ilustrar esse trabalho;

Agradeço ao Instituto de Geociências e Ciências Exatas de Rio Claro por ter-me proporcionado condições para a realização da pesquisa;

Agradeço ao Prof. Ignácio T. Moriguchi do Centro Universitário do Instituto Mauá de Tecnologia pelo incentivo na conclusão do trabalho;

## SUMÁRIO

Índice .....	vii
Índice de Tabelas .....	ix
Índice de Figuras .....	x
Resumo .....	xi
Abstract .....	xii
1. Introdução .....	1
2. Objetivos .....	5
3. Revisão Bibliográfica .....	6
4. Modelo de Gerenciamento Integrado dos Resíduos Sólidos Urbanos .....	21
5. Análise de Viabilidade do Modelo .....	86
6. Conclusões .....	104
7. Bibliografia .....	106

## ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS.	5
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	6
4. MODELO DE GERENCIAMENTO INTEGRADO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS	21
4.1. OS RESÍDUOS SÓLIDOS DOMICILIARES – R.S.D	25
4.1.1 Caracterização dos resíduos sólidos domiciliares (R.S.D.)	27
4.1.1.1. Procedimentos para coleta de amostras para análise de composição química e parâmetros físico-químicos	28
4.1.1.2. Procedimentos para coleta de amostras para análise da composição física	28
4.1.2. O tratamento e a disposição final dos RSD	30
4.2. COLETA SELETIVA	31
4.3. OS RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO – R.C.D	33
4.3.1. Caracterização dos R.C.D.	36
4.3.2. Segregação e reciclagem no canteiro de obras	39
4.4. UNIDADES DE RECEBIMENTO DE ENTREGA VOLUNTÁRIA	41
4.5. ÁREAS DE TRIAGEM E TRANSBORDO – ATT	42
4.6. SELEÇÃO DOS RESÍDUOS COMERCIALIZÁVEIS	47
4.7. COMERCIALIZAÇÃO DOS RETORNÁVEIS	51
4.8. OS RESÍDUOS SÓLIDOS DOS SERVIÇOS DE SAÚDE – RSSS	53
4.9. TRATAMENTO DOS RSSS	53
4.9.1. Incineradores	54
4.9.2. Esterilização	55
4.10. CENTRAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS	56
4.10.1. O meio físico	58
4.10.1.1. O substrato rochoso	60
4.10.1.2. O material inconsolidado	60

4.10.1.3. Os aquíferos	61
4.10.1.4. Declividades	61
4.10.1.5. Migração de contaminantes	62
4.10.1.6. Fenômenos geológicos de risco	65
4.10.2. Seleção de áreas	65
4.10.3. Compostagem	67
4.10.4. Reciclagem de RCD	69
4.10.5. O aterro sanitário	70
4.10.5.1. Sistemas operacionais de aterros sanitários	72
4.10.5.2. Sistema de impermeabilização de base do aterro	74
4.10.5.3. Sistemas de cobertura dos resíduos	75
4.10.5.4. Sistemas de drenagem de águas pluviais	76
4.10.5.5. Sistemas de drenagem de líquidos percolados e de biogás	77
4.10.5.6. Análise de estabilidade dos maciços de resíduos	79
4.10.5.7. Sistema de tratamentos dos líquidos percolados	81
4.10.5.8. Sistema de tratamento dos gases	82
4.10.5.9. Sistemas de monitoramento	82
5. ANÁLISE DE VIABILIDADE DO MODELO	86
5.1. CRITÉRIO AMBIENTAL	89
5.2. CRITÉRIO SOCIAL	90
5.3. CRITÉRIO POLÍTICO-ADMINISTRATIVO	91
5.4. CRITÉRIO ECONÔMICO-FINANCEIRO	95
5.4.1. Metodologia da análise	97
6. CONCLUSÕES	104
7. BIBLIOGRAFIA	106

## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 3.1	Produção diária de resíduos domiciliares per capita em alguns países e cidades	7
Tabela 3.2	De quem é a responsabilidade pelo gerenciamento de cada tipo de lixo?	9
Tabela 3.3	Análise química da água de ataque às amostras de concreto confeccionado com agregado reciclado	12
Tabela 3.4	Resumo de novos materiais obtidos a partir de materiais secundários	17
Tabela 3.5	Produção e eliminação de resíduos sólidos municipais em diversos países da Europa	18
Tabela 4.1	Aumento percentual do total de resíduos sólidos por ano ( 1992/98)	24
Tabela 4.2	Produção diária de resíduos sólidos no Brasil	25
Tabela 4.3	Variação na composição dos resíduos sólidos em São Paulo	26
Tabela 4.4	Composição gravimétrica dos RSD em Vitória-ES	30
Tabela 4.5	Processos de transformação utilizados para o gerenciamento de RSD	31
Tabela 4.6	Estimativas da geração de resíduos da construção civil	35
Tabela 4.7	Percentual de solicitações de reformas, ampliações e demolições no total de projetos aprovados	36
Tabela 4.8	Composição dos resíduos de construção e/ou demolição	37
Tabela 4.9	Índice de reciclagem de latas de alumínio	51
Tabela 4.10	Principais contaminantes e seus indicadores	62
Tabela 4.11	Processos que controlam a migração dos contaminantes	63
Tabela 4.12	Critérios para priorização das áreas para instalação de Central de Resíduos Sólidos (fase de pré-seleção de áreas)	66
Tabela 4.13	Recomendações de projeto para uma unidade de compostagem de RSD	68
Tabela 5.1	Tempo de decomposição do lixo	90
Tabela 5.2	Síntese dos resultados dos municípios consultados	94
Tabela 5.3	Instrumentos legais disponíveis nos Municípios relativos à temática ambiental	95
Tabela 5.4	Orientação Metodológica proposta para os RSU	97
Tabela 5.5	Ganhos econômicos em R\$ / t	102

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 3.1	Demolição de residência com retroescavadeira	10
Figura 3.2	Deposição irregular de entulhos na Marginal do Rio Tietê – São Paulo	10
Figura 3.3	Composição média dos entulhos descarregados no aterro de Itatinga – PMSP	16
Figura 4.1	Modelo de Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos	23
Figura 4.2	Procedimento para coleta de amostras para análise de composição química e de parâmetros físico-químicos	27
Figura 4.3	Procedimento para coleta de amostras para análise de composição física	29
Figura 4.4	Recicláveis da coleta seletiva	32
Figura 4.5	Composição dos resíduos da E.T.T.	38
Figuras 4.6	Esquemas de seleção e reutilização de RCD dentro das próprias obras	40
Figura 4.7	Projeto de implantação de uma unidade de recebimento de entrega voluntária	41
Figuras 4.8	Caçambas estacionárias vistas nas ruas de São Paulo	43
Figura 4.9	Descarga de material coletado	43
Figura 4.10	Separação do resíduo Classe A	44
Figura 4.11	Material não reaproveitável	44
Figura 4.12	Área esquemática de galpão para armazenamento de materiais recicláveis	46
Figura 4.13	Plásticos já classificados e acondicionados	48
Figura 4.14	Papel classificado em “container”	49
Figura 4.15	Área de separação do vidro	49
Figura 4.16	Sucata metálica acondicionada em “container”	50
Figura 4.17	Madeira classificada à espera do transbordo para as olarias	50
Figura 4.18	Esquema de reciclagem na usina de entulho	70
Figura 4.19	Métodos de aterramento	73
Figura 4.20	Componentes de uma camada de cobertura final em aterro sanitário	76
Figura 4.21	Vista geral da superposição de células sanitárias e da distribuição dos drenos de gases em aterros sanitários	78
Figura 4.22	Detalhe do dreno de captação de gases no aterro sanitário	79
Figura 5.1	Enfoque Sistêmico	86
Figura 5.2	Fluxo de Informações sobre RSU	87
Figura 5.3	A hierarquia na minimização de resíduos	87
Figura 5.4	Integração de medidas políticas com o controle técnico	88
Figura 5.5	Mapa da Região Norte1 – São Paulo, SP.	96

## RESUMO

Os conglomerados urbanos produzem cada vez mais resíduos provenientes de diferentes atividades. Os resíduos sólidos domiciliares têm tido prioridade na concepção de modelos de gerenciamento, desde a coleta até a deposição final, devido à grande quantidade gerada e às questões associadas à deposição incorreta, com visível degradação social e ambiental. Os resíduos sólidos provenientes das atividades de construção e demolição de obras só recentemente têm começado a causar preocupação, uma vez que o volume gerado já causa problemas e custos elevados, para a correção dos impactos, no âmbito das administrações municipais. O modelo proposto de gerenciamento integrado de resíduos sólidos urbanos se apresenta como uma abordagem sistêmica do problema e confere uma análise abrangente das alternativas de recuperação e reciclagem dos resíduos em diversas fases que antecedem a destinação final. Assim, a hierarquia do modelo de gerenciamento prioriza as recomendações constantes da Agenda 21, de prevenção, minimização, segregação e reciclagem. A análise de viabilidade do modelo avalia sua sustentabilidade segundo critério ambiental, critério social, critério político-administrativo e critério econômico-financeiro. Para análise de viabilidade econômica partiu-se do modelo de custos evitados com medidas corretivas e efetuou-se a simulação para o Município de São Paulo, obtendo-se ganhos consideráveis da ordem de R\$ 1.000.000,00 por dia.

### **Palavras chave:**

**Resíduos sólidos urbanos, resíduos de construção e demolição, modelo de gerenciamento integrado, políticas públicas, reciclagem.**

## ABSTRACT

The urban environment produces increasingly larger amounts of waste, which come from a large number of activities. The domestic solid waste have been seen as a priority in the conception of management models, from the collection to its final disposal, due to the massive quantities and the subjects related to incorrect disposal, which carries great degradation, both in social and environmental aspects. Only recently, solid waste derived from civil construction and building demolition is starting to draw attention, because the great amount of it is bringing problems and elevated costs to minimize the environmental impact, to the municipal governments. The proposed model of solid waste integrated management is presented as a systemic approach to this question and offers an extensive analysis of the alternatives on recovering and recycling the solid wastes in various stages before the final destination. Therefore, the management model gives priority to the recommendations included in the Agenda 21, such as prevention, downsizing, segregation and recycling. The viability analysis of the model evaluates its sustainability according to environmental, social, political and economical criteria. For the economical analysis, a cost-avoiding model was used, with corrective measures, and it was applied in a simulation for São Paulo city. The profits obtained were of R\$ 1 million a day.

**Key words:**

**Solid waste, construction and building demolition waste, integrated management model, urban planning, recycling.**

## 1. INTRODUÇÃO

A disposição final do lixo urbano é, em nossa sociedade, um problema de grandes proporções que só tende a aumentar. Os levantamentos efetuados pela Organização Pan-Americana de Saúde–OPAS/OMS (REVISTA BIO, 2000) mostram que a produção diária de resíduos sólidos domiciliares nas regiões urbanas da América Latina e do Caribe é de 0,92 kg/habitante. Como se trata de uma população de 370 milhões de habitantes, resulta que são produzidas 330 mil toneladas de lixo que devem ser administradas diariamente. Aproximadamente 75% destes resíduos são coletados e têm destinação freqüentemente inadequada. Portanto, diariamente, um montante da ordem de 82.000 toneladas de lixo é lançado no ambiente, podendo ser abrigo de vetores transmissores de doenças.

Um levantamento feito pela Associação Brasileira das Empresas de Limpeza Urbana e Resíduos Especiais – ABRELPE (REVISTA SANEAMENTO AMBIENTAL, 2000) entre 1995/1997, mostra a existência de uma defasagem de pelo menos 20% entre o volume de lixo gerado e o coletado no país. Foi constatada, ainda, uma evolução na taxa de geração de lixo nos centros urbanos: em Curitiba houve um acréscimo de 31,2% e na Cidade do Rio de Janeiro o acréscimo foi de 24,19%.

O Inventário Estadual de Resíduos Sólidos Domiciliares no Estado de São Paulo concluído em maio de 2000 pela CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, mostrou que para um montante de 645 municípios existem 592 aterros e quatro usinas de compostagem, no entanto, apenas 183 localidades possuem sistemas adequados. O estudo mostrou que 70 municípios participam de consórcios, existindo 23 municípios-sede de soluções conjuntas. Foi detectada a presença de 2.916 catadores operando nos lixões sendo 643 crianças com menos de 14 anos.

Dados recentes (FOLHA DE SÃO PAULO, 2000) trazem uma informação alarmante: 29 pessoas morrem por dia no Brasil, vítimas de doenças decorrentes de falta de infraestrutura de saneamento básico (água tratada, esgoto e coleta de lixo).

Os resíduos gerados nas atividades ligadas à Construção Civil colaboram para piorar os dados acima, pois são gerados em volumes expressivos, não recebem destinação adequada, deterioram o ambiente urbano e ajudam a proliferar os vetores de doenças.

Por outro lado, a produção de entulho também é crescente e tende a aumentar, uma vez que os entulhos de obra englobam os desperdícios durante a execução, os restos de

demolição e de reformas, ou seja, mesmo que os avanços na racionalização da construção minimizem o desperdício, não há como minimizar os rejeitos das demolições e reformas. A situação é ainda mais complexa tendo em vista o desconhecimento do volume gerado, dos impactos que eles causam e de soluções alternativas para seu reaproveitamento, além dos custos sociais envolvidos.

Os resíduos coletados no município de São Paulo, segundo a Secretaria de Serviços e Obras e o Departamento de Limpeza Urbana, são compostos 37,06% por resíduo primário domiciliar proveniente das residências e da atividade comercial, 4,03% por resíduo proveniente de poda e varrição, 2,02% por resíduo industrial, 0,37% por resíduos sólidos dos serviços de saúde, 18,08% por entulho, 1,58% por resíduos diversos (grandes volumes e animais mortos) e 36,36% de resíduos secundários: chorume, escória, rejeito e transbordo (SÃO PAULO EM NÚMEROS, 2002).

Já no município de Santo André, dentro da região metropolitana de São Paulo, onde os registros incluíram os coletores privados, a caracterização forneceu dados bem diferentes: 32,57% de resíduos sólidos domiciliares, 57,59% de resíduos de construção e demolição, 2,72% de resíduos volumosos, 6,75% de resíduos industriais e 0,37% de resíduos de serviço de saúde. (PINTO, 1999).

A solução de simples coleta para posterior aterramento não condiz com as metas de desenvolvimento sustentável, tendo em vista que muitos dos resíduos sólidos coletados podem ser reaproveitados, reutilizados e reciclados. Além disso, os locais adequados para implantação de aterros sanitários receptivos a todos estes resíduos, por sua vez tendem a diminuir, uma vez que as exigências para a disposição correta condicionam uma série de características hidrogeológicas, geológicas e geotécnicas além de políticas públicas de planejamento urbano que limitam muito a adequabilidade de áreas.

O modelo de gerenciamento dos resíduos sólidos urbanos (RSU) contempla, assim, os resíduos sólidos domiciliares (RSD), os resíduos de construção e demolição (RCD), os resíduos provenientes de poda e varrição e os resíduos sólidos dos serviços de saúde (RSSS), de modo a possibilitar uma abordagem que possa ser adaptada às condições particulares de cada localidade. Já os resíduos sólidos provenientes das atividades industriais, que exigem uma avaliação específica, não fazem parte do modelo de gerenciamento integrado proposto. Cada município, de acordo com seu parque industrial, deverá avaliar o perfil do resíduo gerado e verificar sua possibilidade de disposição.

A montagem de um cenário abrangente, que em princípio daria uma roupagem muito sofisticada para implementação em municípios de pequeno e médio porte, torna a questão de destinação dos resíduos sólidos passível de uma solução integrada viável, com participação da iniciativa privada e/ou fomentando a formação de consórcios intermunicipais. A maior crítica ambiental contra as cidades diz respeito ao uso indiscriminado de recursos e ao fato de que as cidades têm um metabolismo linear. Cidades são consumidoras vorazes de água, eletricidade, combustíveis fósseis e nutrientes. Uma das opiniões diz que a cidade sustentável ideal deve ter um metabolismo circular, que utilize somente recursos locais, para reduzir seu impacto sobre o meio-ambiente e que todo o lixo por ela produzido seja reciclado de volta ao sistema (CIB, 2000).

Outra questão que deve ser resolvida é a pressão cada vez maior que a legislação, através das resoluções do CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente, vem fazendo sobre os municípios, no sentido de estabelecer uma conduta responsável no tocante ao gerenciamento e à disposição final dos resíduos sólidos urbanos.

Nesse contexto, estabelecer as melhores alternativas para o modelo de gerenciamento integrado de resíduos sólidos passa pela ponderação de alguns critérios de seleção, como o critério econômico-financeiro, criado a partir do estudo de viabilidade financeira e tarifária do negócio, o critério ambiental de modo que as soluções adotadas preservem o meio ambiente e provoquem o menor impacto ambiental possível, o critério social, que visa uma melhoria na qualidade de vida da população afetada pela inserção regional do modelo e o critério administrativo associado à implementação de políticas públicas que assegurem ao trabalho apoio, receptividade e continuidade, além de estabelecer uma boa convivência entre o poder municipal, estadual e federal com a iniciativa privada.

Deste modo, dada a complexidade observada para gerenciar os resíduos sólidos urbanos, a concepção para um modelo de gerenciamento integrado dos RSU, baseado no enfoque sistêmico do processo, propõe a distribuição de unidades de recebimento de entrega voluntária em áreas de pequeno porte nos bairros mais densamente povoados para posterior envio à área de triagem e transbordo localizada nos limites do perímetro urbano. Por sua vez, o resíduo não comercializável é encaminhado até uma Central de Resíduos Sólidos fora do perímetro urbano, em área selecionada de acordo com critérios específicos, composta de uma unidade de compostagem, uma estação de reciclagem de entulho e uma unidade de aterro sanitário. A opção de compostagem ou simplesmente de um pátio para as leiras e um

incinerador, necessários para minimizar a quantidade de resíduo sólido disposto em aterro, obedecem à prática recomendada para garantir um maior tempo de vida útil dos aterros sanitários.

Sob vários critérios, o modelo proposto é analisado com o objetivo de se verificar a viabilidade do empreendimento. A avaliação segue os critérios ambientais, sociais, político-administrativos e econômico-financeiros. Os critérios ambientais visam a obediência à hierarquia de princípios baseada na redução, reutilização, reciclagem e recuperação dos resíduos sólidos gerados por uma comunidade. Os critérios sociais objetivam a pertinência e inserção social dos diversos atores, coletores autônomos, catadores e carroceiros. Para garantir a sustentabilidade político-administrativa dos modelos de gestão estão em estudo várias propostas no âmbito da legislação federal. A metodologia de análise do modelo econômico se baseia na sugestão de Calderoni (1999), ampliada para as condições de gerenciamento integrado, onde há inserções dos custos evitados com práticas de correção que induzem grandes prejuízos à sociedade e que não são contabilizados na análise econômica.

## **2. OBJETIVOS**

O objetivo é propor um modelo de gerenciamento integrado de resíduos sólidos urbanos, que privilegia o reaproveitamento e a reciclagem e apresenta uma nova metodologia de administração integrada. Assim, o que se propõe é estudar todas as etapas de gestão, a partir do enfoque sistêmico, até chegar a um modelo de Central de Resíduos Sólidos Urbanos. A viabilidade deste modelo de Central de Resíduos deve fornecer subsídios para o planejamento e gerenciamento dos resíduos sólidos urbanos: domiciliares, entulho e resíduos dos serviços de saúde dos municípios, que podem ser administrados de forma integrada e, assim, garantir a sustentabilidade do modelo.

### 3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A dificuldade em reconhecer a complexidade do manejo adequado dos resíduos sólidos produzidos pelo homem tem, de forma sistemática, impedido que as comunidades percebam a gravidade da situação.

Enquanto a sociedade possuía característica sócio-econômica tipicamente rural, a necessidade do saneamento básico não se fazia sentir de forma direta e, conseqüentemente, vários episódios de epidemias foram responsáveis por verdadeiros extermínios de populações.

Com o aumento das populações urbanas o problema do saneamento básico assumiu um caráter primordial no planejamento urbano. Os avanços, no entanto, se fizeram sentir de forma mais acentuada na questão de administração dos recursos hídricos, quando se percebeu que a deterioração destes recursos compromete a sobrevivência da nossa espécie no planeta. Assim, o abastecimento de água, por razões óbvias, foi priorizado nas administrações municipais em detrimento dos serviços de coleta de rejeitos, que englobam as questões do esgoto e do lixo, relegadas a um plano secundário. Entretanto, chegou-se a uma situação de impasse porque, quando não se trata o esgoto e o lixo, o abastecimento de água fica comprometido, piorando a qualidade da água e provocando a escassez.

Observa-se que, por definição (JARDIM et al., 1995), o lixo é composto dos restos das atividades humanas, considerados pelos geradores como inúteis, indesejáveis ou descartáveis. Normalmente, apresenta-se sob estado sólido, semi-sólido ou semi-líquido (com conteúdo líquido insuficiente para que este líquido possa fluir livremente), assim pode-se indistintamente utilizar as expressões lixo e resíduos sólidos domiciliares como tendo o mesmo significado.

Segundo a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 1987) – NBR 10.004: “resíduos sólidos são resíduos nos estados sólidos e semi-sólidos, que resultam de atividades da comunidade de origem: industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Ficam incluídos nesta definição 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 corpos d’água, ou exijam para isso soluções técnicas e economicamente inviáveis em face à melhor tecnologia disponível”.

Os resíduos sólidos classificam-se quanto ao teor de umidade em secos e úmidos; quanto à sua composição química em matéria orgânica e matéria inorgânica e quanto aos riscos potenciais ao meio ambiente em: perigosos, não-inertes e inertes.

A questão dos resíduos sólidos, como evidencia a norma acima citada, demorou mais tempo para ser trabalhada e, principalmente, gerenciada. Esta preocupação, entre outras, ficou evidenciada na Rio'92 – Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento onde um dos principais documentos produzidos, a “Agenda 21”, esclarece que os Estados deverão estar comprometidos em todos os níveis públicos e privados e em conjunto com a sociedade para implementar medidas associadas à destinação dos resíduos sólidos, fornecendo as condições necessárias para a melhoria da qualidade ambiental e de vida da sociedade rumo ao desenvolvimento sustentável (ONU, 1993).

A Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, constituída pela ONU, em seu trabalho denominado “Nosso Futuro Comum”, conceitua desenvolvimento sustentável como “... aquele que atende às necessidades do presente sem comprometer a possibilidade de as gerações futuras atenderem as suas próprias necessidades” “... (desenvolvimento sustentável é) um processo de transformação no qual a exploração dos recursos, a direção dos investimentos, a orientação do desenvolvimento tecnológico e a mudança institucional se harmonizam e reforçam o potencial presente e futuro, a fim de atender às necessidades e aspirações humanas” (ONU, 1993).

Por outro lado, o processo acelerado de urbanização tem evidenciado a correlação direta entre o aumento do padrão de qualidade de vida das populações e o aumento da produção de resíduos domiciliares, como mostra a Tabela 3.1, que indica alguns países e cidades com diferentes quantidades de produção de resíduos per capita.

**Tabela 3.1** – Produção diária de resíduos domiciliares per capita em alguns países e cidades

<b>País/Cidade</b>	<b>Produção</b> (kg/hab/dia)	<b>País/Cidade</b>	<b>Produção</b> (kg/hab/dia)
Canadá	1,90	San José	0,70
EUA	1,50	<b>João Pessoa</b>	0,70
Holanda	1,30	<b>Belo Horizonte</b>	0,68
Japão	1,00	San Salvador	0,68
Europa/México	0,90	<b>Vitória</b>	0,66
<b>DF</b>	0,90	<b>Curitiba</b>	0,66
<b>Rio de Janeiro</b>	0,90	<b>Petrópolis</b>	0,53
<b>Maceió</b>	0,89	Tegucigalpa	0,52
<b>São Paulo</b>	0,88	<b>Lima</b>	0,50
Buenos Aires	0,80	<b>Novo Hamburgo</b>	0,40

Fonte: RUBERG(1999); HERRERA(1992) apud PHILIPPI Jr. (1999).

O plano de ação para alcançar o desenvolvimento sustentável a médio e longo prazo, que constitui a “Agenda 21”, em seu capítulo 18, destaca que os depósitos subterrâneos de lixo deverão ter projetos e administrações melhores para não comprometerem a qualidade da água subterrânea (PHILIPPI JR., 1999). A “Agenda 21”, em seu capítulo 21 destaca que, para uma administração adequada dos resíduos sólidos, é necessária a redução de sua produção, modificando os padrões de produção e consumo e incentivando investimentos em programas de redução de resíduos; deve ainda ser desenvolvida a capacidade de monitorar e compreender o ciclo de produção e descarte de resíduos sólidos; ampliar os programas de reciclagem, com incentivos econômicos e legais; incrementar os serviços referentes aos resíduos, com planejamento nacional, cooperação internacional e disponibilidade de financiamentos. Assim, os serviços de limpeza pública devem estar disponíveis em todas as áreas urbanas até o ano de 2025. No mesmo capítulo 21, seção II - "Buscando soluções para o problema do resíduo sólido", aponta algumas propostas para o equacionamento dos problemas dos resíduos sólidos, merecendo destaque as seguintes recomendações:

- 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). Será necessário que os países estabeleçam critérios para reduzir o lixo de forma a influenciar padrões de produção e consumo. As nações industrializadas devem determinar metas que mantenham a produção "per capita" de resíduos nos níveis que prevalecerem no ano 2000;
- Reutilização: reaproveitamento direto sob a forma de um produto, tal como as garrafas retornáveis e certas embalagens reaproveitáveis;
- Recuperação: procurar extrair dos resíduos algumas substâncias para um determinado uso como, por exemplo, os óxidos de metais;
- Reciclagem: promover o reaproveitamento cíclico de matérias-primas de fácil purificação como, por exemplo, papel, vidro, alumínio;
- Tratamento: buscar a transformação dos resíduos através de tratamentos físicos, químicos e biológicos;
- Disposição final: promover práticas de disposição final ambientalmente seguras;
- Recuperação de áreas degradadas: identificar e reabilitar áreas contaminadas por resíduos (ação reparadora);

- Ampliação da cobertura dos serviços ligados aos resíduos: incluindo o planejamento, desde a coleta até a disposição final.

Essas recomendações, expressas na Agenda 21, já estão sendo colocadas em prática em vários países signatários do encontro ECO-92, realizado no Rio de Janeiro (LEITE et al., 2000).

A metodologia proposta para o manejo de resíduos sólidos na Agenda 21, porém, não será completa se não forem tratados os resíduos de construção civil e demolição, que comprometem a sustentabilidade de qualquer modelo de gestão.

No entanto, observa-se que o primeiro obstáculo para este manejo de forma integrada encontra-se na definição das responsabilidades, como mostra a Tabela 3.2.

**Tabela 3.2** – De quem é a responsabilidade pelo gerenciamento de cada tipo de lixo?

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

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

Fonte: Jardim et al. (1995).

A grande quantidade de resíduo sólido produzido pela construção civil em todas as etapas de vida útil (execução e reformas) e pós-uso (demolição) das obras são de responsabilidade do gerador que, em alguns municípios como São Paulo (DE BAPTISTI et al., 2000), Porto Alegre (REICHERT et al., 2000), Salvador (QUADROS et al., 2000), Belo Horizonte (ABREU, 2001) e Santo André (LIMA & TAMAI apud FRANKENBERG et al., 1999) dispõem de aterros de inertes e/ou soluções de gerenciamento integrado que prevê a reciclagem dos entulhos.

Na grande maioria dos municípios, os geradores não dispõem de local adequado para dispor seus resíduos e utilizando os serviços de “disque-entulho”, transferem para os caçambeiros a deposição dos mesmos.

A Figura 3.1 mostra a fotografia de uma obra em processo de demolição com equipamento mecânico tipo retroescavadeira. Apesar da destinação ser de responsabilidade do gerador, não é fácil achar uma destinação correta porque a população acredita que tendo chamado o caçambeiro ou o carroceiro, quando as proporções são menores, o problema estará automaticamente solucionado.



**Figura 3.1** – Demolição de residência com retroescavadeira

Estes caçambeiros, por sua vez, escolhem locais na maioria das vezes impróprios e acabam criando, em muitos casos, situações de risco, como mostra a Figura 3.2.



**Figura 3.2** – Deposição irregular de entulhos na Marginal do Rio Tietê – São Paulo

A deposição ocorre de forma lenta e, via de regra, se inicia em áreas de várzea, onde o preenchimento das zonas de depressão demoram a aparecer. Assim, se o poder público não efetuar o desmonte da deposição irregular, em pouco tempo o aterro de entulho assumirá

grandes proporções. Porém, esse aterro com o entulho simplesmente lançado, sem nenhum critério técnico, sem obedecer nenhuma regra para construção de aterro, se transforma em uma área com alto potencial de risco de escorregamento.

A seguir, a ocupação das áreas de risco por favelas, como mostra a figura acima, aumenta ainda mais o potencial de risco de escorregamento dos aterros de entulhos. Em outubro de 1989, houve um escorregamento do maciço do aterro de entulho onde estava instalada a Favela Nova República, em São Paulo. A ocorrência causou 14 mortes (FAVELA NOVA REPÚBLICA, 2001).

A prática de entulhar buracos e depressões é muito difundida e deve ser vista com ressalvas, uma vez que, para a população leiga, todos os restos de construção são entulhos.

Outro obstáculo para o manejo correto desses resíduos sólidos está na definição de resíduos inertes (SCHMIDT, 2000). Conforme as normas da ABNT, Resíduos classe III (inertes), são quaisquer resíduos que quando amostrados de forma representativa, (segundo NBR 10.007 – Amostragem de resíduos), e submetidos a um contato estático ou dinâmico com água destilada ou deionizada, à temperatura ambiente, conforme teste de solubilização, (segundo NBR 10.006 – Solubilização de resíduos), não tenham nenhum de seus constituintes solubilizados a concentrações superiores aos padrões de potabilidade de água, excetuando-se os padrões de aspecto, cor, turbidez e sabor. Como exemplo desses materiais, pode-se citar: rochas, tijolos, vidros e certos plásticos.

Para não aceitar os resíduos de construção e demolição no aterro sanitário, parte-se do pressuposto de que a deposição do entulho, que é produzido em grande quantidade, esgota muito rapidamente a capacidade dos aterros sanitários que exigem cuidados especiais (COTTAS, 1983) para evitar a contaminação do lençol freático. Por outro lado, estudos sobre a degradação de resíduos de concreto submetidos à ação de chuvas ácidas (OLIVEIRA, 2002) mostram que existe uma liberação de elementos, óxidos e sais que alteram a qualidade da água, conforme a Tabela 3.3, contaminando o lençol freático e os mananciais.

Cabe ainda mencionar que a CETESB considera prática aceitável (SCHMIDT, 2000) a disposição de resíduos para correção de relevo dependendo do uso ao qual se destina o terreno, mas como não há uma regra estabelecida, recomenda que sejam feitas análises caso a caso.

**Tabela 3.3** - Análise química da água de ataque às amostras de concreto confeccionado com agregado reciclado

PARÂMETROS	UNID	CDDE-A2	CDDE-A3	CDDE-B2	CDDE-B3	CDIE-C2	CDIE-C3	CREN-2	CREN-3	CRED-2	CRED-3
Alumínio	mg/l Al	1,060	1,911	< 0,300	0,749	1,034	1,580	1,323	2,398	0,540	1,880
Cádmio	mg/l Cd	< 0,020	< 0,020	< 0,020	< 0,020	< 0,020	< 0,020	< 0,020	< 0,020	0,011	< 0,010
Cálcio	mg/l Ca	16,300	34,230	8,950	15,630	6,550	13,430	28,850	45,750	29,400	53,570
Ferro Total	mg/l Fe	0,700	1,869	0,177	1,576	0,378	0,756	4,721	7,772	0,360	1,170
Magnésio	mg/l Mg	0,870	1,367	0,621	1,133	0,476	0,787	2,120	4,840	0,480	1,350
Manganês	mg/l Mn	0,101	0,195	0,113	0,230	0,107	0,208	0,104	0,194	0,010	0,060
Potássio	mg/l K	3,314	6,612	2,634	5,489	1,527	2,438	19,950	35,811	13,331	23,002
Sódio	mg/l Na	5,567	9,828	8,432	15,953	4,261	7,926	37,210	58,763	11,050	18,125
Sílica	mg/l SiO <sub>2</sub>	< 3,000	< 3,000	< 3,000	< 3,000	< 3,000	< 3,000	< 3,000	< 3,000	2,100	4,300
Sulfato	mg/l SO <sub>4</sub>	< 3,000	< 3,000	< 3,000	< 3,000	< 3,000	< 3,000	22,000	41,000	19,000	33,000
PH	-	9,1	8,0	7,9	7,6	7,8	7,7	8,0	8,0	8,1	8,0

Fonte: OLIVEIRA et al, 2001.

CDDE – Concreto de Demolição e Desperdício de Edifícios

CDIE – Concreto de Demolição de Infra Estrutura

CREN – Concreto Reciclado de Agregado Não selecionado

CRED – Concreto Reciclado de Agregado Selecionado

Assim, a falta de uma regulamentação específica para gerenciamento do entulho tem sistematicamente prejudicado áreas sadias e de proteção ambiental, como é o caso das margens dos rios e das nascentes dos mananciais. A grande geração de resíduos sólidos produzidos na Construção Civil precisa, portanto, ter uma destinação adequada, pois se trata de um resíduo sólido que pode variar de não perigoso a perigoso, que contém substâncias químicas diversas dependendo do método construtivo empregado, do grau de desperdício das obras e das características dos resíduos de demolição da localidade estudada.

A situação atual, no entanto, está prestes a ser alterada a partir da Proposta de Resolução do CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente, que tramita atualmente no Congresso, já em fase de aprovação e que dispõe sobre Resíduos de Construção Civil. A Resolução estabelece o prazo máximo de 12 meses para que os municípios elaborem seus Programas de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil oriundos de geradores de pequenos volumes e o prazo máximo de 18 meses para sua implementação. Além disso, a Resolução estabelece, em seu Art. 4º, que “Os resíduos de construção civil não poderão ser dispostos em aterros de resíduos domiciliares, em áreas de administração integrada “bota fora”, em encostas, corpos d’água, lotes vagos e demais destinações inadequadas”.

Introduzir estas novas exigências do Ministério do Meio Ambiente será um grande desafio para as administrações municipais e exigirá modelos adequados para gerenciamento dos resíduos sólidos urbanos.

Um dos problemas associados à deposição em aterros sanitários dos resíduos sólidos domiciliares é a formação de um percolado de cor escura, conhecido como chorume que se forma a partir da decomposição dos resíduos domiciliares. O chorume pode percolar através do solo e ser lixiviado, podendo poluir as águas superficiais e subterrâneas. O chorume ou sumeiro (LUZ apud LEITE, 1991) é o líquido oriundo da decomposição do lixo e provém de três fontes: a) umidade natural do lixo, que se agrava sensivelmente nos períodos prolongados de chuva, principalmente se forem usados recipientes abertos no acondicionamento; b) água de constituição dos vários materiais, que sobra durante a decomposição; c) líquidos provenientes da dissolução da matéria orgânica pelas enzimas expelidas pelas bactérias. Esses microorganismos 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. O chorume costuma ser destinado para tratamento na estação de tratamento de esgoto, porém

com parâmetros químicos que muitas vezes diferem dos parâmetros químicos das águas residuárias, em particular a Demanda Química de Oxigênio – DQO e a Demanda Bioquímica de Oxigênio – DBO.

Os processos de estabilização dos resíduos sólidos dispostos em aterros sanitários (TCHOBANOGLIOUS et al., 1993), podem ser divididos em cinco fases: **Fase I – Ajuste Inicial** – Fase na qual os compostos orgânicos biodegradáveis sofrem decomposição aeróbia; **Fase II - Fase de Transição** – Nesta fase, o oxigênio vai se esgotando e começam a se desenvolver condições anaeróbias. O início das condições anaeróbias pode ser monitorado medindo-se o potencial de oxi-redução. O pH do líquido percolado começa a decrescer devido à presença de ácidos orgânicos e à elevada concentração de CO<sub>2</sub> no interior das células do aterro sanitário; **Fase III – Fase ácida** - Nesta fase, a atividade microbológica que teve início na fase II é acelerada com a produção de quantidade significativa de ácidos orgânicos e quantidades menores de gás hidrogênio. O pH do líquido percolado quase sempre cairá para um valor igual ou inferior a 5, devido à presença de ácidos orgânicos e de concentrações elevadas de Demanda Química de Oxigênio – DQO dentro das células do aterro sanitário. A Demanda Bioquímica de Oxigênio – DBO, a DQO e a condutividade do líquido percolado aumentarão significativamente durante a fase III devido à dissolução de ácidos orgânicos no efluente. Devido ao baixo pH do líquido percolado, um certo número de compostos inorgânicos, principalmente metais pesados, serão solubilizados durante a fase III. Se o líquido percolado não for recirculado muitos nutrientes essenciais serão retirados do sistema; **Fase IV – Fermentação Metânica** – Nesta fase, um segundo grupo de microorganismos transforma o ácido acético e o hidrogênio em CH<sub>4</sub> e CO<sub>2</sub> predominantemente. Em razão dessa conversão o pH no interior das células do aterro se elevará a valores mais neutros, em torno de 6,8 a 8,0. Com a elevação do pH do líquido percolado, as concentrações de DBO e DQO e o valor da condutividade do efluente serão reduzidos. Quanto mais alto o valor do pH, menos constituintes inorgânicos permanecerão em solução. Como resultado, as concentrações de metais pesados presentes no chorume também serão reduzidas; **Fase V – Fase de Maturação** – A fase de maturação ocorre após o material orgânico biodegradável ter sido convertido em CH<sub>4</sub> e CO<sub>2</sub>. Como a umidade continua a migrar através dos resíduos, a porção biodegradável deste material que estava indisponível anteriormente, será convertida. A taxa de geração de gás na célula do aterro diminui na fase V, dependendo das medidas de encerramento, uma quantidade pequena de oxigênio e

nitrogênio poderá ser encontrada nos gases do aterro. Durante a fase de maturação, o líquido percolado frequentemente contém ácidos orgânicos difíceis de serem processados biologicamente.

De acordo com a mesma referência, os principais parâmetros de monitoramento são: a condutividade, o potencial de oxi-redução, a Demanda Bioquímica de Oxigênio - DBO, a Demanda Química de Oxigênio – DQO, o pH, a Temperatura, os Fenóis, e os Metais Pesados: Arsênio, Cádmio, Chumbo, Cobre, Cromo, Mercúrio, Níquel e Zinco.

Outro parâmetro químico importante que pode ser medido e serve como advertência para a migração potencial de poluentes são os nitratos que são encontrados em altos níveis nos produtos orgânicos em decomposição.

Os processos de digestão que ocorrem no interior de um aterro sanitário podem ser acelerados, utilizando-se a disposição conjunta de alguns resíduos sólidos industriais e resíduos sólidos domiciliares (RUSHBROKK, 1990).

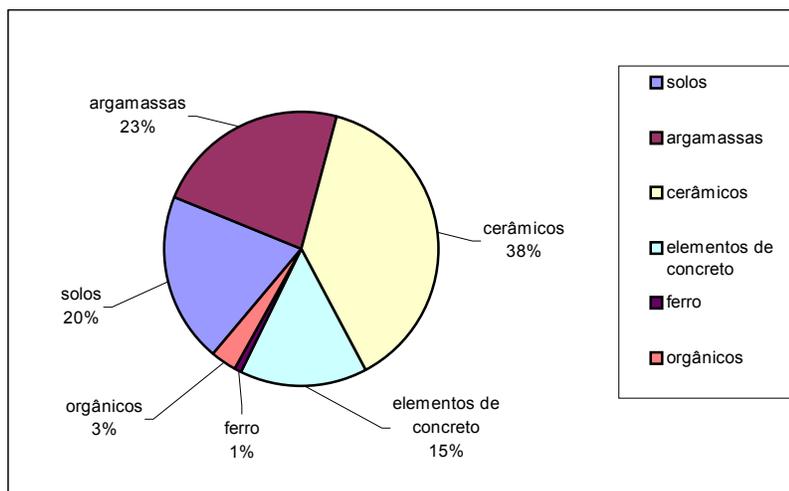
Relatos sobre o modo operacional de aterros sanitários no Reino Unido (ALKER et al., 1993), que utilizavam os princípios da diluição e dispersão de líquidos percolados para atenuar seu efeito poluidor, indicam que camadas de outros materiais podem funcionar como elemento filtrante.

Outros autores (GANDOLLA & ACAIA, 1998) discorrem sobre diversas formas de tratamento de lodo de decantação para aceleração do processo de digestão. Entre outros é sugerida a adição de cal para higienização da mistura de resíduos sólidos domiciliares e da mistura de solo/lodo. Deve ser considerado que a cal tem presença marcante nos resíduos de construção e demolição.

Ao propor a codisposição dos resíduos sólidos urbanos de origem domiciliar excedentes ou não submetidos a compostagem e dos resíduos últimos, não reaproveitáveis, provenientes da construção e demolição de edifícios, é adotada a alternativa técnica de disposição de resíduos domiciliares com resíduos sólidos industriais não perigosos, o que demonstrou ser viável na Região de Limeira (PIMENTEL JR., 1998).

Por outro lado, observa-se que uma massa de entulhos de construção civil, apesar de sua heterogeneidade pode ser considerada como formada por potenciais matérias primas (BRITO FILHO, 1999). O desenvolvimento de técnicas e procedimentos para reutilizá-los é o desafio que se apresenta no momento e que tem mobilizado muitos pesquisadores no sentido

de não só prever as propriedades mecânicas do novo material como sua durabilidade (OLIVEIRA, 2002). A diversidade de materiais encontrados é apresentada na Figura 3.3.



**Figura 3.3** – Composição média dos entulhos descarregados no aterro de Itatinga – PMSP. (DE BAPTISTI, 1999)

Como consequência da diversidade de materiais encontrados, para que haja um aproveitamento adequado devem ser adotadas algumas medidas:

- pré-seleção dos resíduos;
- segregação dos materiais indesejáveis;
- reciclagem e classificação;
- análises de laboratório.

Por outro lado, já são conhecidas práticas para emprego de resíduos da construção civil em obras de pavimentação (TRICHES & KRYCKYJ, 1999), na confecção de argamassas (LEVY, 1997) e em concretos (OLIVEIRA & ASSIS, 1998) e (LEVY, 1997), que podem viabilizar economicamente a reciclagem em usinas desde que estes resíduos sejam devidamente segregados e reprocessados.

Na maior parte das vezes, no entanto, o problema da reciclagem esbarra nas grandes distâncias dos centros geradores até a unidade de processamento, na sazonalidade em relação ao volume gerado, na falta de conhecimento técnico por parte das administrações municipais e no desconhecimento do mercado consumidor (PINTO, 2000).

Na Europa, praticamente todo o resíduo de construção e demolição é reciclado e agora se desenvolve o conceito de “Design for Recycling” (DFR), como aquele projeto que permite e facilita a reciclagem. Assim, alguns materiais frequentemente utilizados na construção são substituídos por outros que favorecem a reciclagem. O segundo aspecto fundamental é dar

preferência ao uso de materiais reciclados no projeto. Esse conceito deve ser enfatizado pelas autoridades até que se converta em uma prática habitual (VASQUEZ, 2001).

Acompanham esse conceito algumas definições:

- Reciclagem primária: aquela em que o produto original passa a ser o material diretamente empregado em uma mesma construção.
- Reciclagem secundária: que consiste em reintroduzir o material no ciclo construtivo com um propósito distinto.
- Reciclagem terciária: decomposição de um material usado para obter outro material.
- Reciclagem quaternária: conversão de materiais usados em energia, que não se trata de uma reciclagem propriamente dita, mas de um reaproveitamento.

A utilização de materiais secundários nos DFR está ligada à metodologia mais moderna denominada “Chain Management”, que se refere à gestão de todo o ciclo de vida do material de construção. Os materiais secundários citados na Tabela 3.4 são empregados em quantidades de vários milhões de toneladas por ano em vários países europeus.

**Tabela 3.4** – Resumo de novos materiais obtidos a partir de materiais secundários

<b>Material Secundário</b>	<b>Diques e Terraplenos</b>	<b>Sub bases</b>	<b>Concreto</b>	<b>Outros</b>
Resíduos de incineração de RSU	X	X		
Cinzas volantes de centrais térmicas			X	- Indústria do cimento - Agregados artificiais
Resíduos de obtenção de fósforo (CaSiO <sub>3</sub> )		X	X	
Escória de alto forno		X		- Indústria do cimento
RCD		X	X	

Fonte: VASQUEZ, 2001.

Como práticas de reciclagem secundária menos difundidas, na Europa, tem-se resíduos de diversos minerais, fosfogesso de fábricas de fertilizantes, lodos de dragagem, lodos de estações de tratamento de água, recuperação de azulejos e metais (aço, zinco,

alumínio, cobre e chumbo). O asfalto é praticamente em sua totalidade reciclado em asfalto novo, processado in situ ou em central.

A avaliação da situação atual do gerenciamento integrado de resíduos sólidos apresentada à comunidade internacional é claramente favorável à prevenção e minimização na fonte para viabilizar a redução das quantidades de resíduos que requerem tratamento ou disposição, promovendo a estruturação dos sistemas de reciclagem (WILSON, 2000). A Tabela 3.5 mostra a situação em que se encontra a destinação dos resíduos sólidos municipais.

**Tabela 3.5** – Produção e eliminação de resíduos sólidos municipais em diversos países da Europa.

<b>País</b>	<b>Produção de RSM per capita anual (kg/habitante/ano)</b>	<b>Aterramento %</b>	<b>Incineração %</b>	<b>Compostagem %</b>	<b>Reciclagem %</b>
Áustria	321	55	12	17	16
França	473	44	41	9	6
Alemanha	440	47	19		34
Grécia	296	94	1		5
Hungria	386	87	9		4
Itália	352	90	6		4
Luxemburgo	540	20	65		15
Holanda	416	50	17		33
Espanha	409	76	4	10	10
Suécia	350	36	49	5	10
Suíça	632	14	47		39
Reino Unido	562	90	8		2

Fonte: FRANGIPANE et al, 1999.

A análise do ciclo de vida dos produtos oferece um mecanismo para se identificar práticas eficientes de redução de resíduos e processos de tratamento, mas tudo isso ainda é incipiente. Métodos para manusear, tratar e dispor os resíduos de forma a não causar danos já estão disponíveis. Porém, estão disponíveis e são apropriadamente operadas apenas em locais que consigam custeá-las e não são facilmente sustentáveis em países com recursos locais modestos. A parte final do processo, como a reciclagem, o tratamento e a disposição não alcançarão sozinhos o gerenciamento sustentável de resíduos, visto que a geração ainda está em crescimento (RUSHBROOK, 2001).

Os resíduos dos serviços de saúde, por sua vez, apesar de serem gerados em quantidade relativamente pequena apresentam sérios riscos à população, de acordo com a Pesquisa Nacional de Saneamento Básico (PNSB), realizada pelo IBGE em 2000, apenas 14% das prefeituras de 5.507 municípios brasileiros disseram tratar o lixo adequadamente, seguindo o que determinam as resoluções nº. 5/93 e nº. 283/2001 do CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente (FOLHA DE SÃO PAULO, 2002).

Para efeito de separação, tratamento e destinação o CONAMA divide os resíduos segundo as características de risco que cada uma de suas parcelas oferece ao ambiente e ao homem. Para a parte patogênica, são considerados adequados a incineração, a queima em forno de microondas e a autoclave. Remédios e quimioterápicos usados, vencidos, alterados, interditados ou impróprios para o consumo têm de ser devolvidos ao fabricante ou importador, por meio do distribuidor. Materiais radioativos devem ser entregues à CNEN – Comissão Nacional de Energia Nuclear. O lixo comum, que representa 80% do total gerado nos estabelecimentos de saúde, pode ser reciclado ou ir para aterros sanitários. As determinações da resolução de 2001 têm de ser colocadas em prática até outubro de 2002, sob pena de enquadramento na Lei de Crimes Ambientais.

Um Grupo de Especialistas em Meio Ambiente Urbano foi criado pela Comissão Européia em 1991. Em 1993 eles lançaram o Projeto Cidades Sustentáveis que focalizava o desenvolvimento urbano sustentável e a integração de objetivos ambientais de planejamento e estratégias gerenciais (CIB, 2000). O resultado principal do projeto “Relatório Europeu sobre Cidades Sustentáveis” fornece a estrutura para uma ação localizada e identifica um conjunto de princípios para aplicação em objetivos definidos e na avaliação e monitoramento dos progressos para a sustentabilidade nas áreas urbanas.

Os quatro princípios são:

a) O Princípio do Gerenciamento Urbano

Gerenciar para a sustentabilidade é, essencialmente, um processo político, que requer planejamento e tem impacto sobre o governo urbano. O processo do gerenciamento urbano pede uma gama de ferramentas dirigidas às preocupações ambientais, sociais e econômicas, de modo a conseguir a base necessária à integração. Ao aplicar tais ferramentas, a realização de uma política urbana para a sustentabilidade se tornará mais abrangente, mais poderosa e mais ansiosa do que geralmente se mostra.

#### b) O Princípio da Política de Integração

A coordenação e integração serão obtidas pela combinação do princípio da subordinação com o conceito mais amplo da responsabilidade compartilhada. A integração deve ser implantada tanto horizontal, para estimular os efeitos sinérgicos sociais, ambientais e de sustentabilidade econômica sustentável, como verticalmente, entre todos os níveis da União Europeia, dos Estados Membros e dos governos locais e regionais de modo a atingir a maior coerência política e de ação e a evitar políticas contraditórias nos diferentes níveis.

#### c) O Princípio do Pensamento voltado aos Ecossistemas

O pensar considerando ecossistemas destaca a cidade como um sistema complexo, caracterizado por fluxos de processos contínuos de mudança e desenvolvimento. Está relacionado com aspectos tais como energia, recursos naturais e produção de lixo como cadeias de atividades que requerem manutenção, recuperação, estímulo e encerramento de modo a contribuir para um desenvolvimento sustentável. “Mentalidade Econômica” também inclui uma dimensão social, que considera cada cidade como um ecossistema social em si mesma.

#### c) O Princípio da Cooperação e da Participação

A sustentabilidade é uma responsabilidade partilhada. A cooperação e divisão entre diferentes níveis, organizações e interesses é, portanto, crucial. Gerenciamento sustentável é um processo de aprendizagem, dentro do qual “aprender fazendo”, partilhando experiências, a educação profissional e o treinamento, trabalhar com cruzamento de disciplinas, as parcerias e redes, a participação e consulta à comunidade, os mecanismos educacionais inovadores e formadores de conscientização são elementos claros.

#### **4. MODELO DE GERENCIAMENTO INTEGRADO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS**

Um modelo pode ser definido como uma representação das relações dos componentes de um sistema, sendo considerada como uma abstração, no sentido em que tende a se aproximar do verdadeiro comportamento do sistema. Isto porque a intenção maior da modelagem é capturar o que realmente é importante no sistema para a finalidade em questão (CHWIF, 1999).

O meio urbano, por sua vez, pode ser encarado como um sistema, constituído por elementos que realizam diversas funções e são inter-relacionados de maneira complexa. A característica adaptativa é constatada como num sistema dinâmico. O controle é realizado de maneira indireta e a energia, suficiente para manter o sistema em operação, se processa através da demanda por bens e serviços (NOVAES, 1981). A demanda pelo gerenciamento de resíduos sólidos data dos últimos trinta anos, quando pessoas em número suficiente começaram a notar os efeitos adversos do lixo em suas vidas. Um conhecimento maior sobre os resíduos, sem dúvida alguma, melhorou a habilidade da sociedade de remover e jogar fora esses materiais e minimizar seus impactos sobre a saúde pública e sobre o meio ambiente local. Um melhor conhecimento também aumentou a aceitabilidade para recuperar frações úteis de determinados tipos de resíduos e colocou o assunto em local de destaque na agenda social (RUSHBROOK, 2001).

O modelo de gerenciamento integrado dos Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) pode ser definido como um procedimento que interpreta, a partir de uma abordagem sistêmica, a geração e destinação dos resíduos sólidos. Esse procedimento requer o envolvimento de técnicos e gestores no âmbito das municipalidades para garantir maior eficiência na implementação das estratégias que abrangem os sistemas, além de oferecer oportunidades de ajustes e redirecionamento ao sistema dinâmico de gestão. Assim é que qualquer estratégia de gerenciamento dos resíduos sólidos municipais deve partir da educação ambiental através da mobilização da comunidade para atingir a sustentabilidade do modelo. O sucesso do modelo será tanto maior quanto mais participativa for a comunidade.

O sistema de gerenciamento integrado de resíduos sólidos é tratado, no presente trabalho, como um conjunto de subsistemas a ser administrado localmente, chegando à etapa de destinação final que pode ser única, ou não, dependendo dos volumes de resíduos gerados pelos municípios. O modelo proposto integra as diretrizes, já conhecidas e implementadas

com sucesso, para gerenciamento dos resíduos sólidos domiciliares (RSD) com a gestão, até o momento ignorada na grande maioria dos municípios, dos resíduos de construção, demolição e reforma (RCD).

O modelo de gerenciamento integrado de resíduos sólidos tem como metas principais:

- Incentivo à segregação dos resíduos sólidos na fonte geradora;
- Incentivo à redução de geração dos resíduos nas atividades construtivas;
- Disposição facilitada de pequenos volumes de RCD e dos produtos da coleta seletiva de RSD;
- Incentivo à organização das cooperativas de catadores com a regularização das atividades dos novos agentes de limpeza dentro das áreas de triagem e transbordo;
- Racionalização do descarte de grandes volumes de RCD;
- Redução dos custos municipais com a limpeza urbana e com a correção dos impactos da destinação imprópria;
- Melhoria da limpeza urbana com ganhos significativos na preservação da paisagem e na qualidade de vida do ambiente construído;
- Racionalização e otimização na utilização dos sistemas de aterros sanitários;
- Aproveitamento da atenuação química promovida pela codisposição dos RSD e dos RCD;
- Redução da fração enterrada dos resíduos, como forma de prolongar a vida útil dos aterros;
- Incentivo à comercialização dos reciclados para garantir a sustentabilidade do modelo;
- Incentivo às soluções de consórcios municipais contemplando os princípios de ação local a partir de um planejamento global;
- Aproveitamento dos mecanismos e da legislação já desenvolvida quanto à preservação do meio ambiente.

O desenho básico do modelo de gerenciamento integrado dos resíduos sólidos urbanos apresenta as centrais de resíduos sólidos onde se pretende garantir a viabilidade da reciclagem dos RCD e o tratamento dos RSD. O modelo de gerenciamento integrado de resíduos sólidos urbanos, concebido para representar os subsistemas constituídos pelos RSD e pelos RCD, é apresentado a seguir na Figura 4.1.

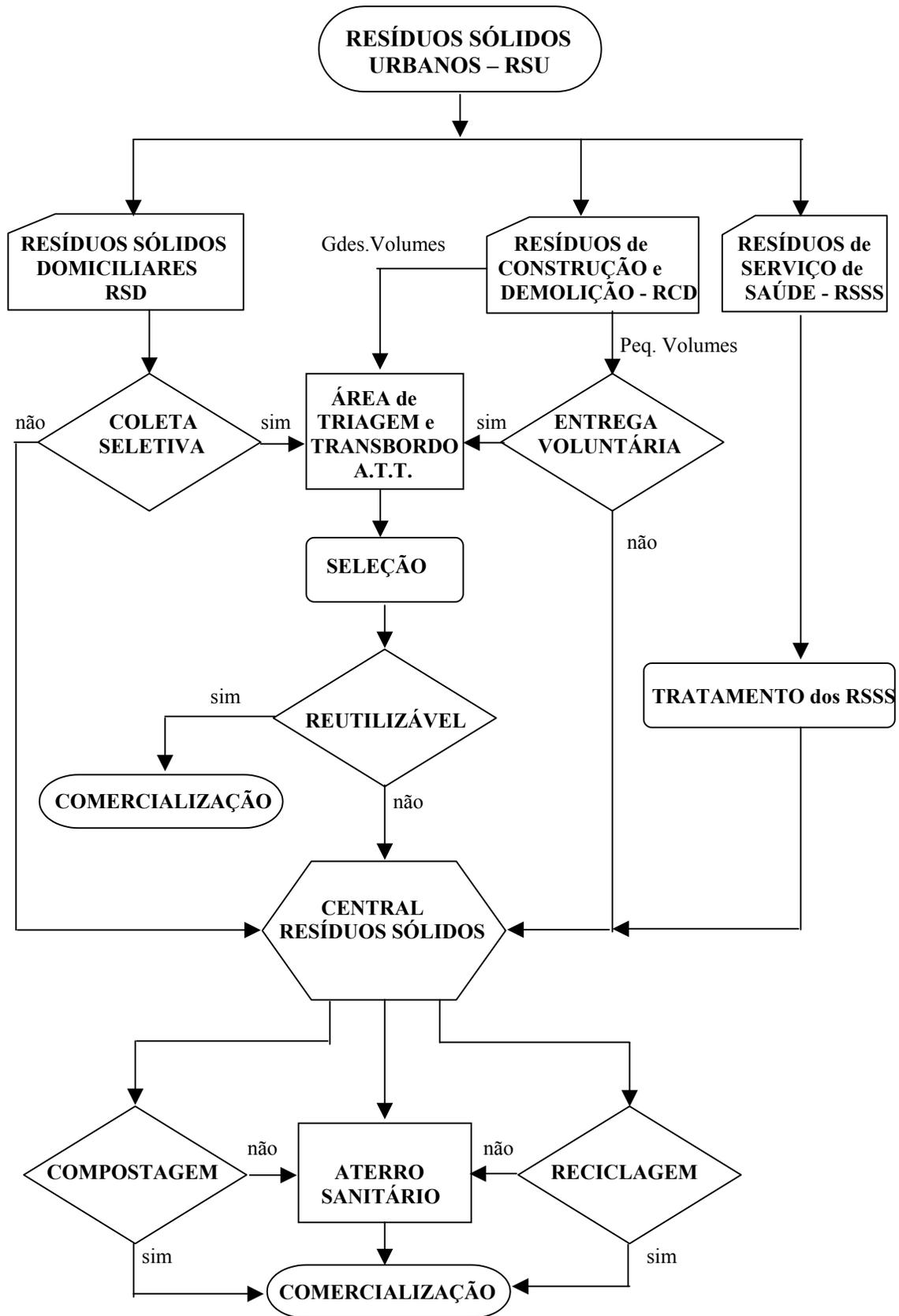


Figura 4.1 – Modelo de Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos

Os princípios de sustentabilidade do modelo estão apoiados no conhecimento dos subsistemas de geração dos RSD e dos RCD e na gestão conjunta destes resíduos de modo a obter eficiência na deposição final que, no caso dos resíduos sólidos, significa enterrar em aterros sanitários somente a “fração última” ou seja, aquela que não pode ser reaproveitada pela sociedade. Outros princípios como o de redução de geração e de segregação na origem fazem parte indissociável deste modelo que procura contemplar de forma abrangente a participação dos diversos atores do ambiente construído.

Faz-se necessário buscar o entendimento e solução de conflitos de ordem econômico-institucionais dentro do âmbito das municipalidades e para tanto, deve-se aproveitar, no modelo de gerenciamento integrado dos resíduos sólidos, a disponibilidade de administração de recursos e a capacidade de aglutinação para formação de consórcios de municípios. A implementação do modelo induz a participação da sociedade civil organizada com coresponsabilidade sobre as ações de planejamento para debater e decidir sobre a questão dos resíduos sólidos.

As diretrizes básicas do modelo de gerenciamento integrado de resíduos sólidos urbanos são: a coleta seletiva dos RSD e a entrega voluntária dos RCD, a administração da fase intermediária de disposição destes resíduos dentro das áreas de triagem e transbordo que se encontram dentro dos núcleos urbanos e o envio do material não reutilizável para a central de resíduos sólidos, onde se processe a reciclagem dos RCD, a compostagem da fração orgânica e a codisposição da fração não reaproveitável, localizada em áreas adequadas, que obedeça aos preceitos estabelecidos pela concessionária de saneamento ambiental e os condicionantes do meio físico.

Para o estudo da situação dos resíduos sólidos urbanos é necessária a promoção do diagnóstico atual de geração do município e/ou região de interesse para fazer um prognóstico das características e volumes que deverão ser gerenciados. A deposição irregular tanto dos RSD como dos RCD impede ações eficazes. Percebe-se, no entanto, que existe uma evolução na geração dos resíduos sólidos, fortemente influenciada pelas flutuações econômicas como mostra a Tabela 4.1..

**Tabela 4.1** – Aumento percentual do total de resíduos sólidos por ano ( 1992/98)

Ano	92-93	93-94	94-95	95-96	96-97	97-98
Aumento (%)	8,8	5,8	12,3	16,4	6,5	7,3

Fonte: REICHERT & CAMPANI, 2000

Com uma população próxima de 160 milhões de habitantes, o Brasil produz diariamente 241 mil toneladas de resíduos sólidos, que estão distribuídos conforme a Tabela 4.2..

**Tabela 4.2** – Produção diária de resíduos sólidos no Brasil

<b>Tipos de Resíduos</b>	<b>Toneladas/dia</b>
Resíduos domiciliares	96.000,00
Resíduos Industriais	32.855,42
Comercial	21.745,26
Inerte	91.813,32
Total	241.614,00

Fonte: MENDONÇA, 1997, apud LEITE et al., 2000.

Provavelmente, desde a data do levantamento mostrado, este número aumentou e se modificou em porcentagem, ou seja, a produção de resíduos sólidos domiciliares e a de resíduos classificados como inertes talvez não estejam tão próximas em valores absolutos, dada a sazonalidade da geração dos resíduos sólidos, principalmente os classificados como inertes (RCD).

Assim, além de ser importante o diagnóstico, é de fundamental importância a reavaliação periódica das informações, devido ao caráter dinâmico do sistema de produção de resíduos sólidos urbanos. Para se fazer o diagnóstico, deve-se considerar a origem, quantidade dos resíduos sólidos produzidos e os tratamentos disponíveis.

#### **4.1. OS RESÍDUOS SÓLIDOS DOMICILIARES – RSD**

Quantificar a produção de resíduos sólidos domiciliares pode, por si só, ser uma tarefa extremamente onerosa, assim, desde o princípio, o trabalho de definição do espaço amostral deve ser feito de forma criteriosa, com a utilização de um controle estatístico que garanta a representatividade da amostragem para não restringir abrangência do levantamento.

Alguns aspectos devem ser considerados antes da caracterização dos resíduos domiciliares, uma vez que as suas características variam ao longo do percurso, desde a geração até o destino final, bem como ao longo do tempo (Tabela 4.3). Fatores climáticos e a

sazonalidade também devem ser levantados, pois influenciam a composição física dos resíduos.

**Tabela 4.3** – Variação na composição dos resíduos sólidos em São Paulo

Tipo de Material	Ano									
	1927	1947	1965	1969	1972	1989	1990	1993	1998	
Papel e papelão	13,4	16,7	16,8	29,2	25,9	17,0	29,6	14,43	18,8	
Trapo e couro	1,5	2,7	3,1	3,8	4,3	-	3,0	4,52	3,0	
Plástico	-	-	-	1,9	4,3	7,5	9,0	12,08	22,9	
Vidro	0,9	1,4	1,5	2,6	2,1	1,5	4,2	1,10	1,5	
Metal e lata	1,7	2,2	2,2	7,8	4,2	3,25	5,3	3,24	3,0	
Matéria orgânica	82,5	76,0	76,0	52,2	47,6	55,0	47,4	64,43	69,3	

Fonte: PROEMA (1994), SÃO PAULO (1998) apud D'ALMEIDA & VILHENA, 2000.

Como o objetivo do trabalho é propor um gerenciamento integrado de resíduos sólidos urbanos com uma nova metodologia de destinação final, através de um modelo de central de resíduos sólidos urbanos, existe uma grande dependência da eficiência do modelo em função dos dados coletados.

Pode-se estimar a quantidade de resíduos gerada (D'ALMEIDA, 2000), considerando os seguintes dados:

A – população atual ( n<sup>o</sup>. de habitantes);

B – geração per capita de resíduos sólidos domiciliares (kg/hab/dia), obtida nos processos de amostragem;

C<sub>0</sub> – nível de atendimento atual dos serviços de coleta de RSD (%);

D – taxa de crescimento populacional;

E – taxa de crescimento de geração per capita de RSD;

C<sub>t</sub> – nível de atendimento dos serviços de coleta de RSD após “n” anos (%);

n – intervalo de tempo considerado (anos).

Estimativas:

- Geração atual:  $A \times B \times C_0$  (kg/dia);

- Geração futura:  $\{ [A \times ((1+D)^n)] \times [B \times ((1+E)^n)] \times C_t \}$  (kg/dia)

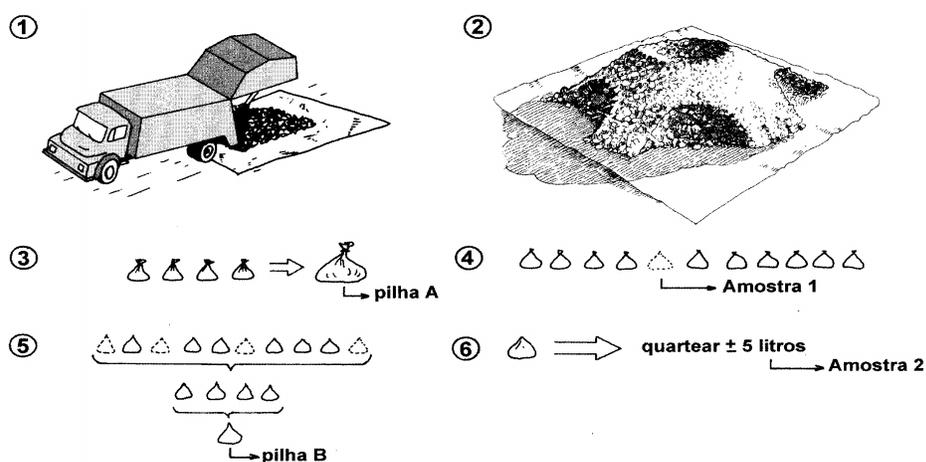
Para uma estimativa inicial, pode-se adotar o valor da média brasileira de geração para áreas urbanas que é de 0,500 kg/hab/dia.

#### 4.1.1. Caracterização dos resíduos sólidos domiciliares (RSD)

As características que devem ser investigadas inicialmente são:

- Número de habitantes do município ou região de abrangência do projeto – de fundamental importância para o planejamento global do gerenciamento do sistema e definição de possíveis partições em sub-sistemas viáveis.
- Poder aquisitivo, nível educacional, hábitos e costumes da população – altera substancialmente a composição física qualitativa e quantitativa dos resíduos sólidos e fornece subsídios para os programas de aproveitamento das diversas frações.
- Condições climáticas – calor e umidade influenciam a escolha da tecnologia de tratamento, equipamentos de coleta e formas de armazenamento, além de condicionar o poder calorífico, densidade e velocidade de decomposição biológica da massa de resíduos sólidos.

A CETESB (1990) recomenda dois procedimentos de amostragem, mostrados nas Figuras 4.2 e 4.3, de acordo com as análises a serem efetuadas. Em tais procedimentos utiliza-se o quartearamento, que consiste em um processo de mistura pelo qual uma amostra bruta é dividida em quatro partes iguais (os quartis), sendo tomados dois quartis opostos entre si para constituir uma nova amostra, descartando-se os dois restantes. As partes não-descartadas são novamente misturadas e o processo de quartearamento é repetido até que se obtenha o volume final desejado, tomando-se o cuidado de selecionar quartis em posição oposta aos tomados anteriormente, como mostram as Figuras 4.2 e 4.3.



**Figura 4.2** – Procedimento para coleta de amostras para análise de composição química e de parâmetros físico-químicos. Fonte: JARDIM (1995).

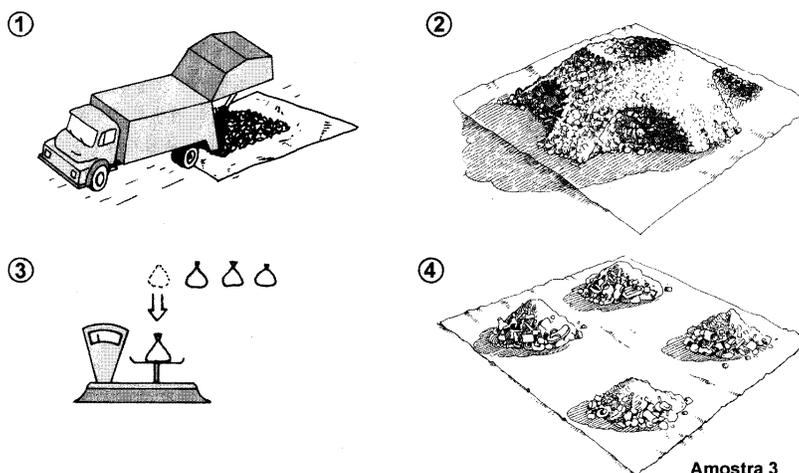
#### **4.1.1.1. Procedimentos para coleta de amostras para análise da composição química e parâmetros físico-químicos:**

- a) Descarregar o caminhão ou caminhões no local previamente determinado – pátio pavimentado ou coberto com lona;
- b) Coletar, na pilha resultante da descarga e colocar em tambores, quatro amostras de 100 litros cada, três na base e laterais e uma no topo da pilha inicial. Antes da coleta, procede-se ao rompimento dos receptáculos e homogeneiza-se, o máximo possível, os resíduos nas partes a serem amostradas, considerar os materiais rolados (como latas e vidros), caso a quantidade inicial de resíduos seja pequena, inferior a 1,5 t, recomenda-se que todo o material seja utilizado como amostra;
- c) Compor uma pilha A com o material amostrado, misturando e homogeneizando-o o máximo possível;
- d) Formar onze pilhas secundárias, coletando-se porções de locais os mais variados possíveis da pilha A. Rapidamente (ao abrigo do sol, chuva, vento e temperaturas excessivas) retalhar os resíduos de uma pilha escolhida de forma aleatória, descartando-se os materiais rígidos, e, após homogeneização, coletar e acondicionar a Amostra 1 ( $\pm 5$ litros) em saco plástico, fechar hermeticamente, identificar e enviar para análise de umidade.
- e) Concomitantemente, selecionar, dentre as dez pilhas restantes, quatro representativas do resíduo coletado. Proceder separadamente para cada pilha: separar os materiais rígidos (pedras, vidros, latas, etc.) e, em seguida, retalhar os resíduos a partículas com diâmetro máximo de até 2cm; somente ao final deste procedimento formar a pilha B, reunindo os resíduos retalhados.
- f) Homogeneizar;
- g) Quartear a pilha B até que se obtenha  $\pm 5$  litros, formando a Amostra 2, a ser embalada, identificada e enviada para análise da composição química e dos parâmetros físico-químicos.

#### **4.1.1.2. Procedimentos para coleta de amostras para análise da composição física:**

- a) Descarregar o caminhão ou caminhões no local previamente escolhido (pátio pavimentado ou coberto por lona);

- b) Coletar quatro amostras de 100 litros cada, utilizando tambores, três na base e uma no topo da pilha resultante da descarga. Antes da coleta, procede-se ao rompimento dos receptáculos (sacos plásticos em geral), e homogeneiza-se, o máximo possível, os resíduos nas partes a serem amostradas. Ainda, considerar os materiais rolados (latas, vidros, etc.). Caso a quantidade inicial de resíduos seja pequena (menos que 1,5 t), recomenda-se que todo o material seja utilizado como amostra;
- c) Pesar todos os resíduos coletados;
- d) Dispor os resíduos coletados sobre uma lona. Este material constitui a Amostra 3, a ser utilizada para as análises da composição física dos resíduos.



**Figura 4.3** – Procedimento para coleta de amostras para análise de composição física. Fonte: JARDIM (1995)

A partir dos procedimentos de amostragem acima descritos é possível a determinação dos parâmetros básicos para caracterização dos resíduos sólidos domiciliares, a saber: teor de umidade, massa unitária e composição física dos resíduos. Com estes dados é possível ainda estimar os percentuais de materiais putrescíveis, recicláveis e combustíveis presentes.

Levantamento efetuado na cidade de Vitória-ES, mostra a composição gravimétrica dos resíduos sólidos domiciliares por classe social, na pesquisa foram denominadas de Classes A (mais de dez salários mínimos de renda mensal), B (de cinco a dez salários), C (de dois a cinco salários) e D (até dois salários), como mostra a Tabela 4.4.

**Tabela 4.4 – Composição gravimétrica dos RSD em Vitória-ES**

Componente	Classe D		Classe C		Classe B		Classe A		Média (%)
	(%)		(%)		(%)		(%)		
	S	U	S	U	S	U	S	U	
Matéria orgânica	53,42	47,67	53,60	54,76	54,94	49,27	55,55	51,62	53,10
Papel / papelão	12,24	17,54	15,96	15,85	19,74	23,12	21,68	24,10	19,12
Plásticos	12,04	12,22	10,46	11,21	13,70	14,02	9,29	11,59	11,77
Diversos	8,22	6,93	6,92	7,25	3,25	5,84	2,10	3,87	5,45
Metais	5,47	3,56	4,14	2,58	3,38	3,03	2,71	2,86	3,25
Vidros	2,19	2,43	2,26	2,19	2,36	1,72	5,49	3,49	2,69
Madeira / couro /									
Borracha	3,39	3,52	4,03	3,19	1,68	1,48	1,89	1,51	2,52
Trapos	3,06	6,15	2,64	3,01	0,98	1,53	1,30	0,99	2,10

Fonte: BRAGA et al. (2000).

LEGENDA:

S – Seco

U - Úmido

#### 4.1.2. O tratamento e a disposição final dos RSD

Desde a geração até a disposição final dos RSD estão envolvidas várias atividades ligadas à opção de tratamento adotada, sendo que o tratamento nunca constitui uma atividade fim porque sempre há um remanescente não aproveitável que necessita receber uma destinação final. Além da geração o acondicionamento inicial é de responsabilidade da população e, por se tratar do início do processo define muitas das decisões, possibilidades e os custos que condicionarão o tipo de tratamento.

O tratamento ou a “industrialização dos resíduos” envolve a adoção de medidas que contemplem os objetivos básicos de redução de geração, segregação e todos os processos de transformação para a reutilização e a reciclagem. Como consequência destas ações chega-se à metodologia que é tendência em países como EUA, Canadá e países europeus de destinar aos aterros sanitários somente os “resíduos últimos”, buscando assim quebrar o ciclo acumulativo dos resíduos sólidos domiciliares, que polui o solo, a água, o ar e piora a qualidade da área do entorno dos aterros sanitários.

A Tabela 4.5 resume alguns processos já bastante difundidos para transformação de RSD e que serão definidos em função do perfil característico desses resíduos e serão adotados em cada etapa do modelo de gerenciamento.

**Tabela 4.5** – Processos de transformação utilizados para o gerenciamento de RSD

<b>Processo de Transformação</b>	<b>Método de Transformação</b>	<b>Principal conversão em produtos</b>
<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> ), cinzas.
Pirólise	Destilação destrutiva	Vários gases, alcatrão e compostos de carbono.
<b>Biológico</b>		
Compostagem aeróbia	Conversão biológica aeróbia	Composto umidificado usado como condicionador de solos
Digestão anaeróbia	Conversão biológica anaeróbia	Metano(CH <sub>4</sub> ), dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> ), húmus

Fonte: TCHOBANOGLIOUS et al. (1993)

## 4.2. COLETA SELETIVA

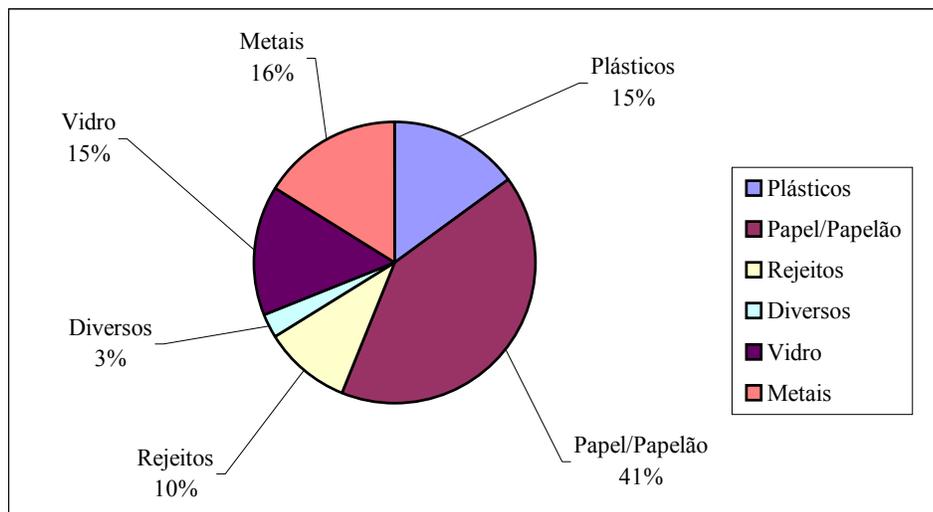
O ponto de partida para o manejo integrado dos resíduos sólidos domiciliares é a coleta seletiva que é um sistema de recolhimento de materiais recicláveis previamente separados na fonte geradora. As quatro principais modalidades de coleta seletiva são: porta-a-porta (ou domiciliar), em postos de entrega voluntária, em postos de troca e por catadores.

A coleta seletiva deve estar baseada no tripé:

- Tecnologia – para efetuar a coleta, separação e reciclagem;
- Mercado – para absorção do material recuperado;
- Conscientização – para motivar o público alvo.

Observa-se, na prática, que municípios que implantaram o sistema de coleta seletiva obtiveram maior sucesso na reciclagem de papel/ papelão. A Figura 4.4 mostra os resultados

da coleta seletiva no Brasil, avaliados pelo CEMPRE (1999) apud D'ALMEIDA & VILHENA (2000).



**Figura 4.4** – Recicláveis da coleta seletiva. CEMPRE (1999) apud D'ALMEIDA & VILHENA (2000)

O sucesso da coleta seletiva está diretamente associado aos investimentos feitos para sensibilização e conscientização da população, ou seja, onde há falta de credibilidade no serviço, a explicação enfoca o fato do planejamento dos serviços não ter intensificado o programa de educação ambiental e principalmente não ter analisado suficientemente as expectativas da população sobre o mesmo (CAMPOS,1994).

A coleta seletiva apresenta os seguintes aspectos positivos:

- proporciona boa qualidade dos materiais recuperados, uma vez que estes ficam menos contaminados pelos outros materiais presentes nos resíduos sólidos domiciliares;
- estimula a cidadania, pois a participação popular reforça o espírito comunitário;
- permite maior flexibilidade, uma vez que pode ser iniciada em pequena escala e ser ampliada gradativamente;
- permite articulações com catadores, empresas, associações ecológicas, escolas, sucateiros, etc.;
- reduz o volume de RSD que devem ser dispostos nos aterros sanitários.

A coleta seletiva exige atenção para as seguintes especificidades:

- necessita esquemas especiais, levando a um aumento dos gastos com coleta e transporte;

- necessita, mesmo com a segregação na fonte, de um centro de triagem, onde os recicláveis são separados por tipo e classificados;
- necessita beneficiamento específico para cada tipo de material, de modo a cumprir com as exigências de indústrias transformadoras que praticam preços diferenciados de acordo com a carga entregue (ALBOREDA & GANDOLLA, 2000);
- necessita acondicionamento e armazenamento específicos para cada material;
- necessita transporte para sua entrega à indústria recicladora.

#### 4.3. OS RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO – RCD

Para quantificar os resíduos de construção e demolição é interessante partir da classificação quanto à procedência, proposta pela The Solid Waste Association of North America (SWANA, 1993 apud PINTO, 1999):

- Material de obras viárias;
- Material de escavação;
- Demolição de edificações;
- Construção e renovação de edifícios;
- Limpeza de terrenos.

Já a Proposta de Resolução do CONAMA que se encontra em fase de aprovação classifica os resíduos de construção civil como segue:

- **Classe A:** são os resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregados, tais como:
  - a) de construção, demolição, reformas e reparos de pavimentação e de outras obras de infraestrutura, inclusive solos provenientes de terraplanagem;
  - b) de construção, demolição, reformas e reparos de edificações: componentes cerâmicos (tijolos, blocos, telhas, placas de revestimento, etc.) argamassa e concreto;
  - c) de processo de fabricação e/ou demolição de peças pré-moldadas em concreto (blocos, tubos, meios-fios, etc.) produzidas nos canteiros de obras;
- **Classe B:** são os resíduos recicláveis para outras destinações, tais como: plásticos, papel/papelão, metais, vidros, madeiras e outros;

- **Classe C:** são os resíduos para os quais não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que permitam a sua reciclagem/recuperação, tais como os produtos oriundos do gesso;
- **Classe D:** são os resíduos perigosos oriundos dos processos de construção (tintas, solventes, óleos e outros), ou aqueles contaminados oriundos de demolições, reformas e reparos (clínicas radiológicas, instalações industriais e outros) enquadrados como Classe I, da NBR 10.004, da ABNT.

A composição dos resíduos de construção e demolição varia, de país para país e até de cidade para cidade, de acordo com os métodos construtivos utilizados e disponibilidades de matéria prima na região, assim é que o gesso, por exemplo, comumente empregado nas construções européias e norte americanas, só recentemente vem merecendo destaque no perfil quantitativo das construções dos grandes centros urbanos. Nas obras viárias, em regiões de clima frio, o pavimento rígido de concreto é muito utilizado, já no Brasil a adoção deste tipo de pavimento começa a tomar maior impulso após a privatização e concessão de alguns trechos da malha viária (PITTA & MARCIANO JR., 1999). Os trabalhos de manutenção e recuperação dos pavimentos rígidos de concreto geram grande quantidade de resíduos, porém já existem vários estudos no sentido de reaproveitar os resíduos de concreto atingindo, assim uma diminuição de custos de pavimentação/infraestrutura urbana (TRICHES & KRYCKYL, 1999).

Apenas os resíduos gerados diretamente pelas atividades de construção e demolição representam massa igual ou superior ao lixo municipal. Os números exatos são polêmicos, inclusive devido às diferenças na definição destes resíduos. Nos países da Comunidade Européia, as estimativas de geração de entulho per capita variam de 136 a mais de 3000 kg/hab./ano, embora os valores típicos estejam entre 600 e 920 kg/hab./dia, como mostra a Tabela 4.6. No Brasil as estimativas existentes indicam uma geração entre 230 e 760 kg/hab./ano, variando entre 41% e 70% do resíduo gerado nos municípios.

Deve-se observar que, nos resíduos brasileiros, ocorre grande predominância de resíduos provenientes das construções novas em relação aos gerados em demolições, em função do desenvolvimento recente das áreas urbanas. Há que se considerar, ainda, que a disponibilidade destes dados, no Brasil, só acontece para a construção empresarial, não havendo ainda estudo sistemático sobre a intensidade de geração de resíduos em outras tipologias de construção (reformas, autoconstruções, construções industriais e obras viárias).

Por outro lado, de acordo com pesquisa recente da ABCP – Associação Brasileira de Cimento Portland, sabe-se que 45% do mercado consumidor de cimento é dominado pelo denominado consumidor “formiga” e não se dispõe de dados sobre esse consumidor.

**Tabela 4.6** – Estimativas da geração de resíduos da construção civil

País	Quantidade anual		Fonte	Observações
	Mton/ano	Kg/ano		
Suécia	1,2 - 6	136 – 680	Tolstoy, Börklund & Carlson (1998); EU (1999)	1996
Holanda	12,8 – 20,2	820 – 1300	Lauritzen (1998); Brossink, Brouwers & Van Kessel (1996); EU (1999)	
EUA	136 - 171	463 –584	EPA (1998); Peng, Grosskopf & Kipert (1994)	(1996)
UK	50 - 70	880 – 1120	DETR (1998); Lauritzen (1998)	1995, 1996
Bélgica	7,5 – 34,7	735 – 3359		1990 - 1992
Dinamarca	2,3 – 10,7	440 – 2010	Lauritzen (1998); EU (1999)	
Itália	35 – 40	600 – 690		1994 – 1996
Alemanha	79 – 300	963 – 3658		
Japão	99	785	Kasai (1998)	1995
Portugal	3,2	325	EU (1999)	Exclui solos
Brasil	-	230 – 660	Pinto (1999)	Algumas cidades apenas

Fonte : JOHN (2000)

A análise da geração dos RCD só apresenta dados consistentes quando, no levantamento, são consideradas as atividades construtivas, a ação dos coletores e a massa coletada pelas administrações municipais. Nas atividades construtivas, são gerados resíduos da ordem de 150 kg por metro quadrado construído (PINTO, 1999), enquanto estudo efetuado na região de Campinas chegou a valores de 230 kg por metro quadrado (SILVEIRA, 1993).

Em 1998, uma pesquisa nacional coordenada pelo Departamento de Construção Civil da Escola Politécnica da USP realizada por um grupo de 16 universidades envolvendo quase uma centena de canteiros em diversos estados brasileiros, obteve indicadores de perdas de materiais bastante representativos e comparáveis, uma vez que foram adotados a mesma metodologia de coleta, processamento e análise. Nessa pesquisa chegou-se à estimativa de geração de entulho de 49,58 kg por m<sup>2</sup> de piso executado (ANDRADE et al, 2001), o que demonstra que a racionalização da construção civil tem sido eficiente no sentido de minimizar a geração de resíduos.

A Tabela 4.7 mostra a participação das solicitações de reformas, ampliações e demolições no total de projetos aprovados junto a algumas Prefeituras. Apesar dos baixos percentuais apresentados na tabela abaixo, as pesquisas levadas a efeito por PINTO (1999) junto aos coletores de RCD indicaram que as reformas e ampliações correspondem a aproximadamente 52% das remoções efetivadas. Conclui-se, portanto, que esse tipo de atividade é um dos maiores geradores de RCD em áreas urbanas, sendo desenvolvida quase sempre de maneira informal e, pela diversidade dos serviços executados, de difícil correlação com a área construída.

**Tabela 4.7** – Percentual de solicitações de reformas, ampliações e demolições no total de projetos aprovados

Solicitações	Municípios					
	S. André (93/96)	S.J.R.Preto (93/96)	S.J.Campos (95/97)	Rib. Preto (90/94)	Jundiaí (95/97)	V.Conquista (95/97)
% solicitações reforma e ampliação	19,0%	7,3%	19,5%	8,4%	2,2%	7,0%
% solicitações demolição	4,8%	1,1%	-	-	6,9%	5,0%

Fonte: PINTO (1999)

Para se ter a definição e quantificação das áreas de geração, faz-se necessário confeccionar mapas de geração da região que permitam detectar as regiões onde as atividades são mais intensas e também os locais onde a vulnerabilidade ao impacto é maior. A visão global das áreas de geração permite o desenvolvimento do plano de gerenciamento integrado, o que pode ser obtido empregando a tecnologia de geoprocessamento.

Pode-se escolher um parâmetro básico de definição da geração de RCD como sendo o número de caçambas contratadas numa determinada região somada ao número de obras em andamento ou já aprovadas pela administração pública, assim é possível quantificar a geração num determinado intervalo de tempo e extrapolar a relação obtida, estabelecendo os valores limites para as subdivisões da região em unidades básicas de gerenciamento.

#### 4.3.1. Caracterização dos RCD

Os resíduos de construção e demolição (RCD) podem conter resíduos perigosos como adesivos, tintas, óleo, baterias, biocidas incorporados às madeiras tratadas, sulfatos provenientes da dissolução do gesso, entre outros. A Tabela 4.8 mostra a composição dos

resíduos de construção e/ou demolição em diversas localidades, os levantamentos efetuados em cidades brasileiras incluem os municípios de Santo André(SP), São José do Rio Preto (SP), São José dos Campos(SP), Ribeirão Preto(SP), Jundiaí(SP) e Vitória da Conquista(BA).

**Tabela 4.8** – Composição dos resíduos de construção e/ou demolição.

Composição percentual	Composição dos RCD em cidades brasileiras	Composição típica RCD em Hong Kong	Composição típica RCD na Bélgica	Composição típica RCD em Toronto
Argamassas	64,0	-	-	-
Asfalto	-	2,2	-	-
Materiais Asfálticos	-	-	10,2	-
Concreto	4,2	31,2	38,2	-
Alvenaria	-	-	45,2	-
Madeira	0,1	7,9	2,1	34,8
Entulho, agreg e cerâmicos	-	-	-	24,1
Entulho	-	7,7	-	-
Componentes cerâmicos	11,1	-	2,9	-
Blocos de concreto	0,1	0,8	-	-
Tijolos	18,0	5,2	-	-
Ladrilhos de concreto	0,4	-	-	-
Pedra	1,4	11,5	-	-
Areia	-	3,2	-	-
Cimento amianto	0,4	-	-	-
Gesso	-	-	0,2	-
Metais	-	3,3	0,2	7,7
Vidro	-	0,3	-	2,8
Papel cartão	-	-	-	4,3
Papel	-	-	-	3,5
Papel e orgânicos	0,2	-	-	-
Outros orgânicos	-	1,7	-	0,6
Plásticos	-	-	0,4	2,5
Tubos plásticos	-	0,6	-	-
Acessórios	-	0,1	-	-
Têxteis	-	-	-	0,7
Borracha e couro	-	-	-	0,5
Finos	-	-	-	1,9
Outros mat. de construção	-	-	-	16,6
Solo	0,1	-	-	-
Lixo, solo e barro	-	23,8	-	-
Bambu e árvores	-	0,4	-	-
Sucata	-	0,1	-	-
Outros	-	-	0,6	-
<b>TOTAL</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>

Fonte: PINTO (1999)

Os dados desta tabela indicam a diversidade da composição dos resíduos nas localidades levantadas, decorrente da tradição construtiva e do local de coleta das amostragens e permitem ainda assegurar que a imensa maioria dos resíduos gerados, em qualquer das localidades, é formada por parcelas recicláveis. Observa-se que, de acordo com os dados disponíveis para a Comunidade Européia, a estimativa é de uma presença média de 45% de componentes de alvenaria e vedação, 40% de concreto, 8% de madeira, 4% de metal e de 3% de papel, plástico e outros materiais. São significativos, ainda, os dados disponíveis para a Espanha, indicando que os resíduos de origem mineral (concreto, artefatos e outros) são 95% do peso dos edifícios com mais de 60 anos de idade e 98% do peso total de edifícios residenciais contemporâneos, executados em estrutura de concreto e vedações pré fabricadas (ITEC, 1995 apud PINTO, 1999). A primeira coluna da Tabela 4.8 indica que nos canteiros de obra brasileiros acontece um processo de aproveitamento das aparas de materiais como papel, metálicos, plásticos e parte da madeira, que têm um valor comercial agregado imediato e serão encontrados nos resíduos de construção em quantidades menores que as realmente geradas. Outro fator importante a considerar é que a geração ocorre de maneira segregada na origem, dependendo da fase construtiva da obra ou do tipo de reforma e às vezes até da etapa da demolição. Na deposição, à espera da coleta, é que os materiais são misturados, inviabilizando ou encarecendo a reciclagem. Em muitos casos, quando há segregação na origem, existe um reaproveitamento dentro da própria obra.

No Município de São Paulo a composição obtida, em Área de Triagem e Transbordo que recebe os resíduos provenientes de caçambas particulares, está apresentada na Figura 4.5, na categoria “outros” encontram-se, por exemplo, os pneus e os grandes volumes como móveis quebrados e eletrodomésticos.

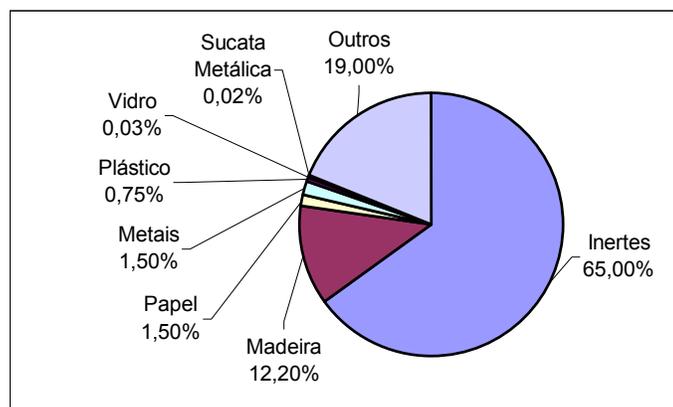


Figura 4.5 – Composição dos resíduos da A.T.T.  
Fonte: FERRAZ et al, 2001

A diversidade de influências sobre a geração induz a amostragem na disposição, porque somente nos depósitos tem-se certeza da participação global de todas as variáveis.

Entre os poucos trabalhos que sistematizam a metodologia de amostragem, destaca-se a metodologia proposta por SILVEIRA, 1993, em seu trabalho desenvolvido para a região de Campinas, bastante útil para caracterização de depósitos irregulares onde não se pratica a triagem e o transbordo.

#### **4.3.2. Segregação e Reciclagem no Canteiro de Obras**

Os procedimentos de tratamento dos resíduos sólidos provenientes de construção, demolição e reformas são um grande desafio dos centros urbanos, sabe-se, no entanto, que um caminho para se obter ganhos consideráveis, tanto econômico como para o meio ambiente, é promover a seleção e a reciclagem na origem, utilizando as características de material secundário.

Em empreendimentos empresariais, tanto na construção como na demolição, é possível segregar os rejeitos e promover a reciclagem dentro da própria obra, cumprindo assim as duas primeiras metas propostas pela “Agenda 21”, que se referem à redução do volume de resíduos na fonte geradora e seu reaproveitamento direto.

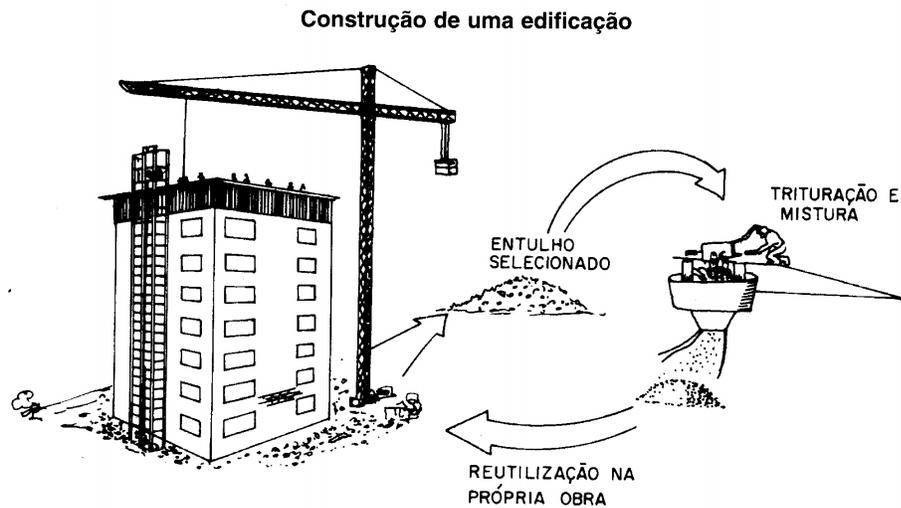
Os estudos anteriormente citados sobre a produção de entulho nos canteiros de obra (ANDRADE et al, 2001) demonstram que a prática de reabsorver os resíduos dentro da própria obra já é uma prática adotada, tendo em vista as quantidades levantadas na pesquisa, além de um controle dos processos construtivos no sentido de minimizar os desperdícios.

Essa prática tem sido motivada por questões de custo e deverão se tornar um requisito obrigatório em função da implementação da Resolução CONAMA que dispõe sobre os resíduos de Construção Civil e esclarece qual deve ser o objetivo do gerador em seu Art.7º. §1º. “O gerador deverá ter como objetivo prioritário a não geração de resíduos e secundariamente, a redução, a reutilização, a reciclagem e a destinação final.”

As Figuras 4.6 apresentam modelos esquemáticos de seleção e reciclagem dentro das próprias obras, quando o empreendimento tiver porte para tal.

A reciclagem dos RCD desponta como uma solução promissora, todavia não se pode adotá-la isoladamente, sendo preciso que sua aplicação faça parte de um conjunto integrado de ações, capaz de atender às peculiaridades de cada resíduo gerado.

## Reciclagem no próprio local da geração do entulho



Figuras 4.6 – Esquemas de seleção e reutilização de RCD dentro das próprias obras  
Fonte: JARDIM et al. (1995)

Entretanto, o principal impedimento à reciclagem é a irregularidade e a heterogeneidade da qualidade dos resíduos. Assim, os materiais de origem orgânica como: madeira, papel, papelão de embalagem, trapos e materiais plásticos, que são gerados na obra, também devem ser separados para a reciclagem.

As ferragens, que têm presença marcante nas obras de construção civil, também representam perigo aos equipamentos de reciclagem e não são totalmente resolvidas com os separadores magnéticos.

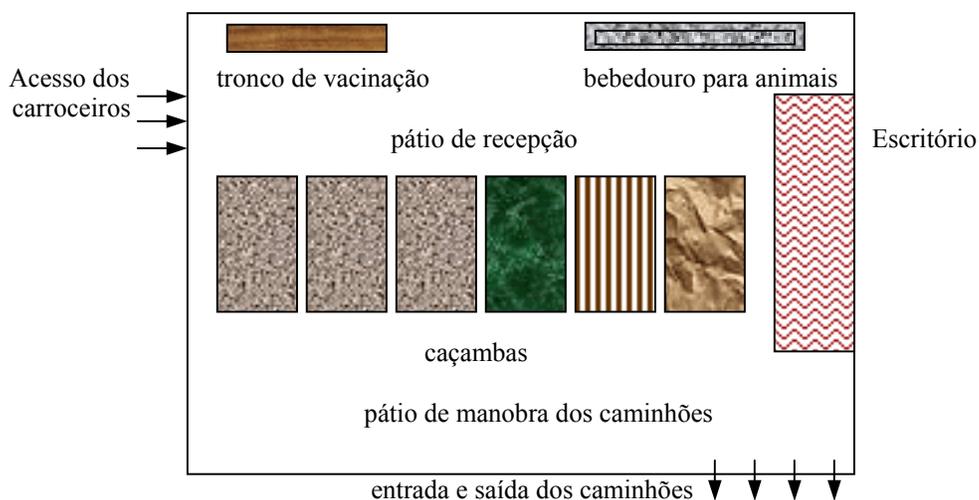
O produto resultante da trituração e do peneiramento do material de origem mineral produz grãos com granulometria, forma e dureza muito variáveis e os equipamentos são, frequentemente levados a trabalhar longe de suas condições ótimas o que às vezes impede o reaproveitamento na própria obra, mas não inviabiliza a reutilização, que pode ser para outros usos.

#### 4.4. UNIDADES DE RECEBIMENTO DE ENTREGA VOLUNTÁRIA

As unidades de recebimento de entrega voluntária são concebidas como várias áreas utilizadas para a recepção de pequenos volumes de resíduos de construção civil e sobras de reforma que não são recolhidas pelo serviço de coleta municipal. Os principais meios de transporte utilizados pelos usuários das unidades de recebimento de entrega voluntária são as carroças, os carrinhos de mão e veículos leves. São áreas urbanas de pequeno porte da ordem de 300m<sup>2</sup>.

Em Belo Horizonte, MG, encontra-se implantado um conjunto de ações denominado “Programa de Correção Ambiental e Reciclagem com Carroceiros” responsável pela implementação das chamadas Unidades de Recebimento de Pequenos Volumes – URPV, onde o máximo descarte permitido é de 2m<sup>3</sup> e pelas atividades de conscientização e cadastramento dos carroceiros além do emplacamento e regularização das carroças (FIUZA et al, 2001).

A simplicidade do projeto das unidades de recebimento de entrega voluntária é um fator determinante para que um maior número delas possa ter sua implantação viabilizada. Além disso, a estrutura física simplificada facilita seu remanejamento, no caso do local deixar de ser estratégico para recebimento de entulho. Os materiais que chegam à unidade são segregados por tipo no momento do descarte e depositados em caçambas separadas. O ideal é que cada unidade mantenha três caçambas para entulho, uma para poda, uma para ferragens e uma para materiais inservíveis, a Figura 4.7 mostra um modelo para unidade de recebimento de entrega voluntária.



**Figura 4.7** – Modelo de uma unidade de recebimento de entrega voluntária

O funcionamento da unidade de recebimento de entrega voluntária consiste, basicamente, por um fluxo de materiais que chegam pelo pátio de recepção e, após uma triagem feita pelo usuário, são descarregados diretamente nas caçambas. Além dos pátios, é necessário um escritório de apoio com instalação sanitária para os servidores responsáveis pela operação; uma pequena cobertura sobre um tronco de madeira onde os animais são tratados e vacinados e um bebedouro para os animais.

São as seguintes as vantagens advindas da implementação das unidades de recebimento de entrega voluntária:

- diminuição dos pontos de bota-fora clandestinos;
- melhoria das condições sanitárias e ambientais do meio urbano;
- melhoria dos aspectos visual e estético.

A operacionalização desta rede de áreas deve se dar com um constante incentivo à entrega voluntária de resíduos por parte de coletores e geradores, buscando atrair para os limites de áreas planejadas e geridas, todas as deposições irregulares anteriormente detectadas. Deve ser definida como meta a aglutinação de pequenos coletores em cada uma das pequenas áreas, tanto na cooperativa de catadores como para garantir solução de descarte para geradores que não disponham de veículo apropriado, formalizando o papel destes pequenos coletores como agentes de limpeza urbana. Para que o sistema descrito funcione é de extrema importância o planejamento da disposição geográfica das pequenas áreas em relação à zona geradora. Por se tratar de um sistema dinâmico, variante no tempo e dependente da evolução da ocupação urbana, é necessário que seja feita uma avaliação periódica do desempenho das áreas de atração, para saber se há necessidade de ampliá-las ou, eventualmente, desativá-las.

#### **4.5. ÁREAS DE TRIAGEM E TRANSBORDO – A.T.T.**

A seleção, reciclagem e destinação dos RCD são etapas dos procedimentos de manejo dos resíduos e devem ser estabelecidas de acordo com os princípios do gerenciamento adotado. O sistema de caçambas estacionárias, muito utilizado na coleta e destinação dos RCD, costuma ser aproveitado pela população como depositário da mistura de todos os resíduos e sobras, como mostram as Figuras 4.8.



**Figuras 4.8** – Caçambas estacionárias vistas nas ruas de São Paulo

Em muitas cidades brasileiras verifica-se a existência de deposições irregulares onde rotineiramente são removidos os volumes mais elevados, o que indica a provável presença de deposições feitas por grandes coletores ou geradores, além dos carroceiros. Tais agentes, que trabalham com caçambas estacionárias e veículos basculantes, reduzem seus custos de deslocamento diminuindo as distâncias percorridas e repassam, para o poder público, o custo de destinação final. A seleção no ponto de destino, em muitos casos, inviabiliza a reciclagem e maximiza o custo na destinação final, provocando gastos excessivos.

No município de São Paulo existem iniciativas no sentido de segregar o material recolhido com o objetivo de destiná-lo ao aterro de “inertes” de Itaquera, tendo em vista que o aterro só permite a recepção de resíduos de argamassa, concreto e solo de escavação, resíduos que de acordo com a Resolução CONAMA para resíduos sólidos são classificados como Classe A – resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregados, como mostram as Figuras 4.9 e 4.10.



**Figura 4.9** – Descarga de material coletado  
Fonte: FERRAZ et al., 2001



**Figura 4.10** – Separação do resíduo Classe A  
Fonte: FERRAZ et al., 2001

O procedimento de separação dos diversos materiais reaproveitáveis e reutilizáveis, resíduos Classe A e B, gera uma sobra que precisa ser destinada, uma vez que não se tem desenvolvido nenhuma técnica de reaproveitamento e reciclagem deste material que contém desde resíduos perigosos contaminados com tintas e solventes, resíduos Classe D, até material de origem orgânica proveniente de podas, resíduos Classe C, como mostra a Figura 4.11.

Este procedimento de tratamento dos RCD é um grande desafio dos centros urbanos, porque não está ambiental e economicamente bem equacionado. Por um lado existe a geração e por outro lado a necessidade de se garantir a sustentabilidade de cada subsistema do modelo, no caso da área de triagem e transbordo é necessária a comercialização dos resíduos que dispõem de valor agregado para manter a viabilidade econômica.



**Figura 4.11** – Material não reaproveitável  
Fonte: FERRAZ et al., 2001

Por outro lado, as atividades de coleta seletiva dos RSD e de entrega voluntária dos RCD podem ser reunidas dentro de uma mesma diretriz básica porque ambas apresentam as mesmas vantagens, recolhem o mesmo resíduo classificado pelo CONAMA como Classe B e, de acordo com o gerenciamento integrado proposto, deverão ser encaminhadas para a mesma A.T.T.

Ambas apresentam os seguintes aspectos positivos:

- proporcionam boa qualidade dos materiais recuperados, uma vez que estes ficam menos contaminados pelos outros materiais presentes tanto de RSD e RCD;
- estimulam a cidadania, através da participação popular, reforçando o espírito comunitário;
- permitem flexibilidade, uma vez que podem ser iniciadas em pequena escala, sendo ampliadas gradativamente;
- permitem articulações com catadores, empresas, sucateiros, caçambeiros, escolas e organizações não governamentais;
- reduzem o volume de resíduos sólidos que devem ser dispostos nos aterros sanitários.

Por outro lado, os requisitos para implantação e gestão tanto da coleta seletiva de RSD como das unidades de entrega voluntária de RCD são:

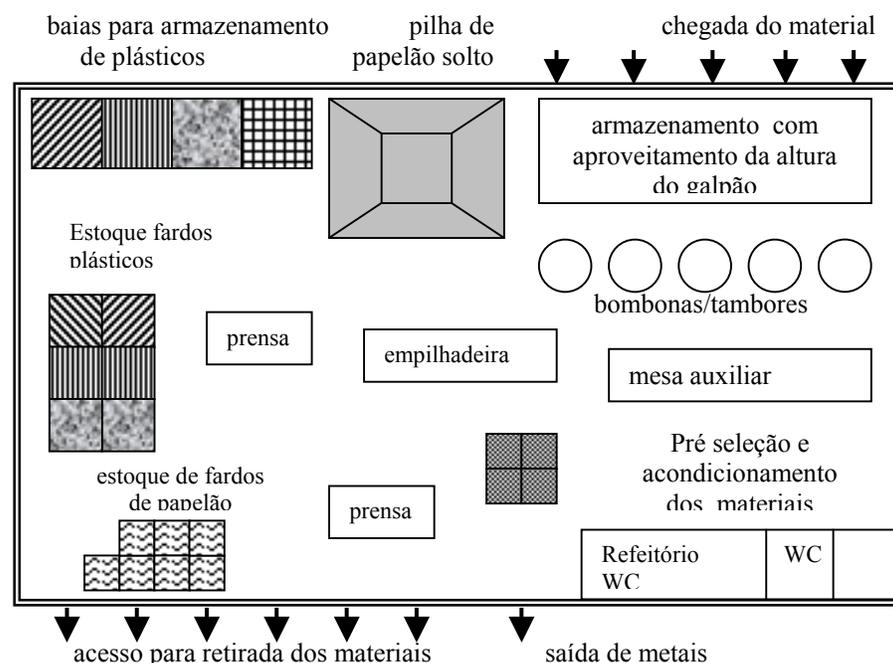
- esquemas especiais de coleta e transporte;
- beneficiamento específico para cada tipo de material;
- acondicionamento e armazenamento específicos para cada material;
- área de triagem, onde os recicláveis são separados por tipo e classificados e é feito o transbordo para transporte e entrega seja nas usinas recicladoras seja na central de resíduos sólidos.

Assim, nestas áreas onde ocorre a triagem e o encaminhamento de grande parte dos resíduos diretamente para as empresas de reciclagem, alguns resíduos devem ser prensados e enfardados antes de seguir para a comercialização. Outros resíduos são encaminhados à central de resíduos sólidos após a triagem. São áreas de médio porte que devem ser especializadas na recepção de volumes coletados por caçambeiros inclusive das caçambas existentes nas unidades de recebimento de entrega voluntária.

Para o cálculo de área necessária ao armazenamento de recicláveis (ALBOREDA & GANDOLLA, 2000), deve-se considerar:

- em 1 m<sup>2</sup> pode-se armazenar 1,5 tonelada de papel/papelão em fardos de aproximadamente 1,00 x 1,10 x 0,70 m, com massa média de 350 kg cada um, se empilhados em 5 camadas;
- em 1 m<sup>2</sup> pode-se armazenar 0,5 tonelada de material plástico, misturado, em fardos de aproximadamente 1,00 x 1,10 x 0,70 m, com massa média de 80 kg cada um;
- 16 m<sup>2</sup> são necessários para armazenar uma tonelada de material ferroso solto depositado em montes de aproximadamente 2,5 m de altura com a massa variando de acordo com as dimensões e densidade da sucata;
- em 1 m<sup>2</sup> pode-se armazenar 0,5 tonelada de alumínio acondicionado em fardos de aproximadamente 1,00 x 1,10 x 0,70 m, com massa média de 100 kg cada um;
- em baias de aproximadamente 1,00 m<sup>3</sup> armazena-se 1000 kg de cacos de vidro, dependendo do grau de trituração dos mesmos.
- O planejamento de uma área de armazenamento para sucata ferrosa deve respeitar uma distribuição espacial tal que permita a formação de montes dessa sucata que é normalmente armazenada solta no pátio externo ao galpão. A área externa também deve ser tal que facilite a movimentação de materiais e a circulação de equipamentos, veículos e pessoal.

A Figura 4.12, a seguir, apresenta um esquema básico de uma área de armazenamento:



**Figura 4.12**– Área esquemática de galpão para armazenamento de materiais recicláveis.  
Fonte: ALBOREDA & GANDOLLA, 2000.

A quantificação de materiais recicláveis é sempre mássica. Isso pode ser explicado pelo custo de transporte que depende do peso para cálculo de manutenção de veículos e estradas e pelo fato de ser determinante em orçamentos para o destino de resíduos sólidos. A quantificação volumétrica não é realizada e, entretanto, é esta que pode “medir” a economia em aterro sanitário e, de forma mais direta, a área necessária para armazenamento de recicláveis, a ponto de viabilizar seu escoamento. A quantidade selecionada e enviada para a indústria recicladora é tão importante quanto a qualidade, porque o preço está relacionado com a tonelagem e a frequência das entregas.

As áreas de médio porte necessitam de 3000 a 5000m<sup>2</sup> e são destinadas à acumulação e transbordo para outra área onde aconteça o processamento, eventualmente pode-se processar a reciclagem dos RCD. A definição das áreas de médio porte também deve ser induzida pelas características operacionais dos agentes que manejam as caçambas estacionárias, sendo importante a consideração de características como raio de ação, zonas de contribuição e classe de geração da região. Para o sucesso da implementação dos novos procedimentos é essencial que as novas áreas designadas para disposição sejam convenientes à sua lógica de mercado. Não deve haver acréscimo substancial nos custos referentes ao transporte de resíduos, também devem ser considerados os elementos estruturadores urbanos como rodovias, ferrovias e cursos d’água, de modo a garantir fácil acesso aos novos locais de disposição. As dimensões das áreas devem, além disso, possibilitar a acumulação e transbordo dos resíduos para processamento nas centrais de resíduos sólidos. Deve-se considerar que as áreas de médio porte motivadas por forte adensamento populacional dificilmente serão desativadas com o passar do tempo, uma vez que após o término desta fase surgem as reformas e o aumento na geração dos resíduos domiciliares. Outra questão que deve ser analisada é o impacto causado, no entorno da A.T.T., pela movimentação dos caminhões de grandes dimensões que transportam 15m<sup>3</sup> de resíduos por vez. A facilidade de acesso e de escoamento de transporte induz a necessidade de se localizar próximo às rodovias, mas no limite do perímetro urbano.

#### **4.6. SELEÇÃO DOS RESÍDUOS COMERCIALIZÁVEIS**

O que favorece a reciclagem e, em muitos casos viabiliza a comercialização, sem dúvida, é a segregação na origem, no entanto isso exige uma conscientização que demanda

um trabalho de educação ambiental. A educação ambiental tem caráter continuado e depende de outros fatores que extrapolam a análise do modelo de gerenciamento. De qualquer forma, a recepção dos resíduos sólidos não conseguirá evitar o processo de seleção, quando o objetivo for a reutilização e a reciclagem.

A seleção e separação das diversas frações de resíduos sólidos recebidos nas A.T.T. devem ser feitas com vistas à reciclagem e o rendimento será tanto maior quanto mais bem feito for esse processo. Os materiais reutilizáveis, provenientes da coleta seletiva e das unidades de entrega voluntária, resíduos Classe B, de acordo com a Resolução CONAMA, em geral, são pouco contaminados e têm fácil comercialização. Já os resíduos provenientes das caçambas estacionárias estão quase sempre mais contaminados e necessitam de uma pré avaliação antes da comercialização.

No caso da administração particular da A.T.T. é a comercialização desses materiais, que já possuem valor agregado, que viabiliza o pagamento da mão de obra. Na A.T.T. do Jaçanã, em São Paulo, após a chegada, o material é separado e selecionado sendo encaminhado para as baias, de acordo com os itens pré estabelecidos. A Figura 4.13 mostra a separação dos plásticos acondicionados em sacos para enviar à empresa recicladora.



**Figura 4.13** – Plásticos já classificados e acondicionados  
Fonte: FERRAZ et al., 2001

A classificação é feita manualmente por pessoas carentes, moradoras da própria região, cuja remuneração é feita por produtividade a partir da comercialização destes materiais classificados, ditos retornáveis. O PVC representa 40% do total de plástico classificado na A.T.T.

A Figura 4.14 mostra o papel selecionado do material coletado que segue para a reciclagem.



**Figura 4.14** – Papel classificado em “container”  
Fonte: FERRAZ et al., 2001

O vidro obtido precisa ser sempre reclassificado porque as garrafas desenhadas são recompradas pelas empresas de envasamento por valores muito superiores aos das não desenhadas que por sua vez são comercializadas por quilo. Os cacos de vidro também possuem valor agregado diverso. A Figura 4.15 mostra a área destinada aos vidros, trata-se de uma área coberta para evitar a acumulação da água de chuva, o que causa vários problemas, inclusive a possibilidade da presença de mosquitos transmissores de doenças.



**Figura 4.15** – Área de separação do vidro  
Fonte: FERRAZ et al., 2001

Os materiais que possuem maior valor agregado e respondem por praticamente toda a receita do empreendimento são as sucatas metálicas de metais ferrosos e não ferrosos. A Figura 4.16 mostra o “container” de sucata metálica.



**Figura 4.16** – Sucata metálica acondicionada em “container”  
Fonte: FERRAZ et al., 2001

A madeira de construção representa um problema de destinação parcialmente resolvido porque se apresenta em grande quantidade, como mostra a Figura 4.17, mas ainda não possui um valor agregado. A solução obtida, até o presente momento, é a queima em olarias que retiram a madeira na Área, mas nada pagam.



**Figura 4.17** – Madeira classificada à espera do transbordo para as olarias  
Fonte: FERRAZ et al., 2001

#### 4.7. COMERCIALIZAÇÃO DOS RETORNÁVEIS

O êxito na comercialização dos retornáveis depende não só da qualidade dos materiais como da quantidade e da regularidade com que eles são disponibilizados. Sendo assim, o acoplamento do recebimento da coleta seletiva dos RSD com o recebimento das unidades de entrega voluntária e os RCD vem garantir o fornecimento dos retornáveis e assim evitar a sazonalidade associada à produção de resíduos, principalmente de RCD em municípios de pequeno e médio porte.

A reciclagem da lata de alumínio no Brasil vem apresentando um vertiginoso crescimento, a ponto de assegurar ao País, hoje, a liderança mundial em índice de reciclagem, percentual representado pelo total de latas utilizadas na reciclagem em relação ao total de latas fabricadas no período, que é de 78%, de acordo com o CEMPRE – Compromisso Empresarial para Reciclagem. A Tabela 4.9. mostra a evolução do índice de reciclagem em alguns países.

**Tabela 4.9.** – Índice de reciclagem de latas de alumínio

País	ANO (%)							
	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998
Argentina	-	-	-	-	25	41	48	50
Brasil	37	39	50	56	63	61	64	65
Europa	21	25	28	30	35	37	40	41
EUA	62	68	63	65	62	64	67	63
Japão	43	54	58	61	66	70	73	74

**Fonte:** ABAL - Associação Brasileira do Alumínio (D'ALMEIDA et al., 2000)

Como o processo de reciclagem da lata de alumínio pode ser prejudicado pelos níveis de sujeira presentes na sucata, existem determinações rígidas quanto ao nível de sujeira por parte da recicladora o que conduz a exigências de aperfeiçoamento tecnológico nas etapas anteriores ao processo.

A reutilização de um produto de vidro, como por exemplo, a garrafa de vidro, apresenta vantagens óbvias, e pode ser feita diversas vezes, sendo necessária apenas uma limpeza rigorosa e uma tampa nova para permitir recolocar a garrafa no mercado.

O vidro assemelha-se à lata de alumínio em reciclabilidade, uma vez que ambos são 100% recicláveis. Para cada tonelada de caco de vidro limpo, obtém-se uma tonelada de vidro

novo. A inclusão do caco de vidro no processo convencional de produção do vidro reduz sensivelmente os custos de produção (D'ALMEIDA, 2000).

Para alguns tipos de vidro, não existe tecnologia disponível e/ou viabilidade econômica para estabelecer um processo de reciclagem como os espelhos, os vidros planos, vidros de automóveis; vidro “cristal”; vidros especiais (lâmpadas, tubos de televisão, válvulas, ampolas de medicamentos) e qualquer utensílio doméstico de vidro temperado.

Para se obter um melhor preço de venda do vidro reciclado deve-se realizar a entrega desse vidro quebrado em forma de cacos, lavado e de preferência separado por cor às indústrias.

A contribuição do plástico para a viabilidade econômica do subsistema compreendido pela coleta e seleção dos resíduos sólidos urbanos é potencialmente muito elevada, sobretudo em função da economia de matéria prima que proporciona.

De modo geral as empresas que se dedicam à reciclagem ou revenda do plástico preferem adquiri-lo previamente separado e limpo, e, portanto, é interessante que o plástico passe por um processo de pré tratamento que possibilite sua adequação a uma transformação. É evidente que o preço do material a ser comercializado aumenta diretamente com o grau de beneficiamento, bem como seu custo.

Os processos de reaproveitamento e reciclagem do papel são muito variados, tendo em vista a grande variedade de tipos de papel utilizados para cada finalidade. Os papéis são normalmente classificados como: de impressão, de escrever, de embalagem, de fins sanitários, cartões e cartolinas e especiais.

Para alguns papéis, a reciclagem é economicamente inviável e, portanto, diz-se que não são recicláveis, como: papel vegetal ou glassine; papel impregnado com substâncias impermeáveis à umidade; papel carbono; papel sanitário usado; papel sujo, engordurado ou contaminado com produtos nocivos à saúde; e certos tipos de papéis revestidos com parafina e silicone. A reciclagem de embalagens cartonadas tipo longa vida só é viável se o processo for feito separadamente para a recuperação das fibras celulósicas.

A sucata metálica pode ser reciclada, sem maiores problemas, mesmo quando enferrujada. Sua reciclagem é também facilitada pela sua simples identificação e separação. Uma forma eficiente de promover a separação é com a utilização de eletroímãs, devido às suas propriedades magnéticas. A reciclagem de metais ferrosos apresenta um papel socioeconômico, uma vez que dela dependem inúmeras fundições de pequeno porte,

instaladas nas áreas industriais das cidades. Depois de separado, o metal ferroso é compactado em prensas e pode ser comercializado na forma de fardos.

A sucata metálica, a lata de alumínio e o vidro podem ser reciclados indefinidamente sem perdas ou prejuízos à qualidade e, portanto existem propostas no sentido de classificá-los como matéria-prima secundária e não como resíduo.

#### **4.8. OS RESÍDUOS SÓLIDOS DOS SERVIÇOS DE SAÚDE – R.S.S.S.**

Os Resíduos Sólidos de Serviços de Saúde (RSSS), apresentam riscos e dificuldades especiais no seu manuseio devido ao caráter infectante de alguns de seus componentes. Além de apresentarem uma grande heterogeneidade e a presença freqüente de objetos perfurantes e cortantes, possuem ainda em sua massa quantidades menores de substâncias tóxicas, inflamáveis e radioativas de baixa intensidade. Os RSSS apresentam-se como componentes representativos dos resíduos sólidos urbanos, não pela quantidade gerada, mas pelo potencial de risco que representam à saúde pública e ao meio ambiente. O Gerenciamento destes resíduos deve contemplar as seguintes etapas: segregação, acondicionamento, manuseio, transporte interno, armazenamento, tratamento e disposição final. O manejo adequado dos RSSS no sentido de evitar que se transformem em fonte de contaminação, faz parte das preocupações da área de saúde pública e meio ambiente. O tratamento destes resíduos junto à fonte geradora é condição de segurança quanto aos riscos potenciais apresentados pelos mesmos, além de atender ao princípio da responsabilidade do gerador, conforme determina a legislação proposta pelo CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente.

#### **4.9. TRATAMENTO DOS RSSS**

Considera-se "tratamento adequado para resíduos" qualquer processo que, em condições de total segurança e eficiência, modifica as suas características físicas, químicas e biológicas, ajustando-as a padrões aceitos para uma determinada forma de disposição final.

Os métodos de tratamento podem ser implementados por si só ou associados a um determinado tratamento prévio que impeça a disseminação dos agentes patogênicos ou de qualquer outra forma de contaminação acima de limites aceitáveis pelos órgãos de controle da saúde. O processo de tratamento final dos resíduos de saúde atualmente tem se diversificado. Já

existe em municípios como São Paulo, um trabalho em conjunto entre aterros e incineradores, no qual as cinzas provenientes dos incineradores são transportadas para aterros sanitários para a sua disposição final, completamente descaracterizada de qualquer tipo de infecção. Na prática, os processos aplicados hoje se dividem em incineração convencional e desinfecção por esterilização.

#### **4.9.1. Incineradores**

A incineração vem sendo utilizada como alternativa de tratamento de resíduos sólidos, principalmente em regiões onde há escassez de áreas para disposição final, como as regiões metropolitanas e em países como Japão, Suíça e Suécia.

O processo de incineração de resíduos consiste na combustão controlada em equipamentos especiais denominados incineradores. A incineração basicamente consiste num processo de redução de peso e volume do RSSS. 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 vidros e pedras.

A escória, geralmente da ordem de 15 a 20% da massa original dos resíduos, 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 as partículas (fuligem ou negro de fumo), exercem forte ação poluidora na atmosfera. Portanto, é imprescindível que os incineradores contenham, além da câmara de combustão, equipamentos complementares, como filtros destinados ao tratamento de gases e particulados leves resultantes da combustão dos resíduos.

Outro aspecto importante a ser considerado na instalação de incineradores é a possibilidade da recuperação do calor gerado no processo de queima dos resíduos. (CALDERONI, 1999).

O processo de incineração apresenta como principais vantagens:

- 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, uma vez que o incinerador pode ou não estar localizado dentro da Central de Resíduos;
- bom funcionamento, independentemente das condições meteorológicas;
- possibilidade de recuperação de energia contida nos resíduos.

O processo de incineração, no entanto, exige cuidado principalmente devido ao alto risco de poluição atmosférica quando o incinerador é mal projetado ou mal operado, o que resulta em exigência de mão-de-obra especializada para operação e altos custos de investimento e manutenção.

#### **4.9.2. Esterilização**

A esterilização é o procedimento utilizado para a completa destruição de todas as formas de vida microbiana, com o objetivo de evitar infecções e contaminações devido ao uso de determinados artigos hospitalares. A destruição das bactérias se verifica pela termocoagulação das proteínas citoplasmáticas, sendo suficiente uma exposição a 121°C a 132°C durante 15 a 30 minutos (REVISTA MEIO AMBIENTE INDUSTRIAL, 2001).

As formas de esterilização incluem:

- Esterilização química;
- Esterilização utilizando vapor (autoclave);
- Esterilização utilizando microondas

Na esterilização química os produtos químicos utilizados para esterilização dos resíduos são muito caros. Dispor de matéria química também é oneroso. Após a utilização de produtos químicos, o resíduo passa a possuir elementos químicos perigosos e mais uma vez apresenta problemas para as pessoas e meio ambiente quando descartado nos depósitos.

O processo de esterilização por calor úmido e microondas é considerado uma tecnologia limpa por não apresentar emissões gasosas ou líquidas, evitando-se assim, maiores impactos ao meio ambiente.

A associação de altas temperaturas (acima de 120 graus Celcius) com alto vácuo, permite uma redução do tempo de exposição do material a estas condições, assim como força

uma penetração maior do vapor úmido, aumentando, assim, a eficiência do processo de esterilização, reduzindo igualmente o tempo de exposição. O resíduo esterilizado não apresenta risco para as pessoas ou para o meio ambiente.

Este método tem provado eficácia para esterilização de instrumentais cirúrgicos, no entanto, tão logo o resíduo deixa de ser definível, a viabilidade desta tecnologia é prejudicada. Como o material sintético é mal condutor de calor, o vapor não pode penetrar em seus poros ou em cavidades estreitas com facilidade, proporcionando com isto, a sobrevivência e expansão de microorganismos. O processo de esterilização deve durar mais tempo já que o vapor move-se vagarosamente do exterior para o interior. O consumo de energia e água é alto. Além disso as autoclaves são objeto de severo controle de emissão de gases em muitos países.

As microondas trabalham muito rapidamente. O resíduo hospitalar é aquecido por dentro, já que as microondas podem penetrar no material diretamente (por exemplo, em plásticos). Tem sido provado que as microondas não podem aquecer o material que está seco e é poroso, sem a necessidade de certa quantidade de umidade (esporos secos e bactérias sobreviverão). O resíduo hospitalar não pode ser uniformemente umedecido sem ter sido previamente triturado. Triturar o RSSS antes de ser esterilizado, entretanto, não é recomendável porque este processo pode ser perigoso, o triturador se infectaria com o RSSS.

#### **4.10. CENTRAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS**

O modelo de gerenciamento tem como cerne o estabelecimento da Central de Resíduos Sólidos para, em um único local, gerenciar todos os tipos de excedente de resíduos sólidos, ou seja, aqueles resíduos que, provenientes de processos de segregação anterior, necessitam de uma área maior para reciclagem e cuja fração restante é o “resíduo último” que precisa receber uma destinação final, o que pode ser obtido através da incineração ou da deposição em aterro sanitário.

Para implantação da Central de Resíduos Sólidos será sempre de fundamental importância o diagnóstico da produção de resíduos sólidos, conforme foi apresentado anteriormente. Como o manejo dos resíduos sólidos já passou por um procedimento filtro na A.T.T., os resíduos sólidos que deverão seguir para a Central de Resíduos Sólidos serão compostos da fração orgânica dos RSD, dos inservíveis, dos RCD pertencentes à Classe A e dos RSSS descontaminados.

Dentro da planta da Central de Resíduos Sólidos devem estar previstas algumas unidades com finalidades específicas, a saber:

- Guarita de Entrada;
- Balança;
- Administração Geral;
- Vestiários;
- Sanitários;
- Refeitório;
- Almojarifado;
- Laboratório de Análises;
- Sistema de gerenciamento dos RSD;
  - Sistema de triagem e separação da fração orgânica;
  - Pátio para as leiras de compostagem;
  - Área para enfardamento do composto;
  - Área coberta para armazenamento do composto curado;
  - Baias para acondicionar o material reciclável;
  - Prensas para enfardamento dos resíduos de papel, plástico e metal;
- Sistema de gerenciamento dos RCD:
  - Sistema de separação e destinação da fração vermelha dos RCD para reaproveitamento em sub-base de pavimentos e na cobertura diária das células do aterro sanitário.
  - Sistema de moagem da fração vermelha dos RCD;
  - Sistema de separação para reciclagem da fração cinza dos RCD, contendo:
    - Silo de recepção, tipo calha vibratória;
    - Triturador;
    - Correia transportadora;
    - Extrator imantado de materiais ferrosos;
    - Conjunto de peneiras;
    - Pátio para armazenamento do agregado reciclado com área destinada à execução de artefatos de concreto com agregado reciclado;
- Aterro Sanitário;

- Equipamento para tratamento de efluentes.

Estes são os requisitos básicos para a implantação completa de uma Central de Resíduos Sólidos e os equipamentos que devem ser instalados na mesma para o manejo dos RSU dentro do contexto proposto de gerenciamento integrado. Existe a possibilidade, dadas as características do(s) município(s), de ser introduzido um incinerador dentro da Central ou próximo ao centro urbano para receber também os RSSS.

A área reservada para as instalações dos equipamentos e para execução das atividades propostas é função da quantidade de resíduos sólidos que será gerenciada para atendimento da região considerada. Outro parâmetro básico é o tempo de vida útil previsto para o aterro sanitário, que condiciona todo o dimensionamento da Central de Resíduos Sólidos. Deve-se considerar que este tempo deve ser o maior possível, tendo em vista o montante de investimentos e custos na implantação, além de todos os requisitos técnico-científicos aplicados na seleção e desenvolvimento do projeto.

Para responder ao questionamento sobre onde deve ser instalada a Central de Resíduos Sólidos existem as diretrizes para avaliação do meio físico.

#### **4.10.1. O meio físico**

Os requisitos para o projeto adequado da Central de Resíduos Sólidos coincidem com os requisitos para a implantação de aterros sanitários de modo que qualquer que seja a concepção de implantação, as redes hídricas superficiais ou subterrâneas não devem ser atingidas. Devem ser avaliados os fatores que condicionam o meio físico de modo a escolher e caracterizar o local. A seleção apropriada evitará gastos excessivos com obras de engenharia de infraestrutura para minimizar riscos ao meio ambiente e a viabilidade econômica será tanto maior quanto mais adequado for o local escolhido. Os melhores locais para implantação de aterros de resíduos devem apresentar (COTTAS, 1991):

- Baixa declividade para minimizar os escoamentos para a área do aterro. Em caso contrário, o projeto deve conter um sistema especial de drenagem para desvio das águas de escoamento superficial.
- Solos de fácil escavabilidade e com boas características de material de aterro, ou seja, baixos valores de Limite de Liquidez e Índice de Plasticidade e granulometria de areia

fina, silte e argila em porcentagens próximas (solos homogêneos), o que qualifica estes solos como bons materiais de cobertura para as células do aterro.

Devem, portanto, ser investigadas as condicionantes geológicas, hidrogeológicas, geotécnicas e geomorfológicas para melhor definição das áreas de adequabilidade à deposição de resíduos sólidos.

As principais condicionantes geológicas estão relacionados à:

- petrografia;
- estratigrafia;
- geologia estrutural;
- características do manto de alteração e dos solos superficiais

As principais condicionantes hidrogeológicas são:

- presença de aquíferos locais e regionais;
- zonas de recarga de aquíferos regionais;
- cargas e gradientes hidráulicos, condutividades hidráulicas e transmissividades, porosidades totais e efetivas, armazenamentos específicos e coeficientes de armazenamento, velocidades e direções de fluxo regional e local das águas subterrâneas, coeficientes de dispersão e retardamento;
- características da zona não-saturada, que podem facilitar a filtragem;
- a posição dos níveis d'água subterrânea e suas variações em relação à base da deposição dos resíduos;
- qualidade e utilização das águas subterrâneas;
- proximidade, qualidade e utilização das águas superficiais.

Entre os fatores condicionantes geotécnicos que devem ser levantados, citam-se:

- características de drenagem do material inconsolidado que servirá de suporte.
- características do solo de cobertura das células que são: granulometria, limites de Atterberg, porosidade, densidade e umidade;
- características de resistência, colapsividade e deformabilidade dos solos, na área de implantação da central;
- localização e características de áreas de empréstimo.

Como condicionantes geomorfológicas, as mais importantes são:

- áreas sujeitas à inundação;
- áreas com declividade elevada;

#### **4.10.1.1. O substrato rochoso**

No grupo das rochas sedimentares, os arenitos e conglomerados desprovidos de matriz argilosa e de cimentação, apresentam elevadas condutividades hidráulicas e, portanto, favorecem a migração de contaminantes, enquanto os siltitos e argilitos apresentam baixa condutividade hidráulica e elevada capacidade de sorção dos contaminantes nas partículas argilosas, dificultando a sua migração. Nas rochas sedimentares, a percolação e, portanto, a contaminação, ocorre predominantemente ao longo de planos de acamamento, com comportamento anisotrópico. Pode estar condicionada também pela presença de descontinuidades, como falhas e juntas, sendo que, muitas vezes, estas últimas se formam ao longo das superfícies de contato e acamamento. As rochas calcárias apresentam estruturas de dissolução e vazios altamente favoráveis à percolação das águas subterrâneas e ao transporte de contaminantes.

Em rochas ígneas e metamórficas, o transporte de contaminantes é governado pela presença de descontinuidades, como falhas, juntas e aquelas associadas a folheações, principalmente cataclásticas. Estas estruturas são os caminhos preferenciais de percolação anisotrópica, enquanto nenhuma percolação e transporte de contaminante são registrados na rocha. É, portanto, fundamental efetuar investigações detalhadas para delimitar as porções desprovidas de estruturas geológicas e para localizar e caracterizar estas estruturas.

#### **4.10.1.2. O material inconsolidado**

Os aluviões se localizam em áreas muito planas, mostram níveis de água elevados, estão próximos de rios, em áreas sujeitas à inundação, sendo que, os aluviões arenosos ou com cascalhos, desprovidos de matriz e de siltes e argilas, são caracterizados por elevadas condutividades hidráulicas e os argilosos apresentam alta compressibilidade e baixa

capacidade suporte. Assim, os aluviões são caracterizados como unidades bastante desfavoráveis à disposição de resíduos.

Os coluviões, quando se localizam em encostas suaves, são freqüentemente homogêneos e com níveis de água profundos, favorecendo a retenção de contaminantes nas proximidades da fonte. Merecem ser bem avaliados porque podem apresentar baixa capacidade suporte e elevadas porosidade, compressividade e colapsividade.

Os solos eluviais, sem estruturas da rocha matriz, principalmente aqueles provenientes da alteração de basaltos e diabásios, mostram espessuras elevadas, homogeneidade e alto conteúdo de argila, aspectos que favorecem a retenção dos contaminantes.

Os solos de alteração, ainda com estruturas da rocha matriz preservadas apresentam, freqüentemente, condutividades hidráulicas anisotrópicas e maiores que aquelas da rocha matriz, condicionadas pelas estruturas, reliquias, que constituem os caminhos preferenciais de percolação e transporte de contaminantes.

A presença de macroporos, cavidades e canalículos é um importante fator para o aumento da velocidade de infiltração das águas e dos contaminantes que percolam na zona não-saturada dos materiais consolidados.

#### **4.10.1.3. Os aquíferos**

As áreas de recarga de aquíferos confinados e os aquíferos freáticos são as mais suscetíveis à contaminação a partir de locais de deposição, pois estão desprovidas do isolamento devido às camadas de menor condutividade hidráulica.

Quanto maior a espessura da zona não-saturada, maiores serão a distância percorrida, o tempo transcorrido e a sorção obtida até o contaminante atingir as águas subterrâneas, o que possibilita a retenção dos contaminantes próximo à fonte.

#### **4.10.1.4. Declividades**

Áreas de relevo escarpado, com encostas íngremes, são áreas sujeitas a deslizamentos e erosões e, portanto, desfavoráveis à implantação de aterros. As encostas suaves apresentam-se como mais adequadas, adequabilidade esta associada ao menor custo de obras de

infraestrutura para implantação, uma vez que as obras de contenção de encostas são muito caras.

#### 4.10.1.5 Migração de contaminantes

A análise da migração de contaminantes no substrato de fundação da área fornece subsídios para avaliação dos possíveis impactos. Os principais grupos de contaminantes ou poluentes e seus indicadores, encontrados nas diversas fontes de contaminação ou poluição são apresentados na Tabela 4.10. Devem ser destacados os cloretos, nitratos e metais pesados, por estarem presentes em grande parte das fontes de contaminação e os contaminantes orgânicos e metais pesados específicos, por indicarem fontes de contaminação específicas.

**Tabela 4.10** – Principais contaminantes e seus indicadores

<b>Contaminantes</b>	<b>Principais indicadores</b>
Partículas sólidas	Sólidos em suspensão (SS), sólidos totais dissolvidos (STD), sólidos totais (ST), turbidez, cor
Orgânicos	Oxigênio Dissolvido (OD), Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO 5dias) Demanda Química de Oxigênio (DQO), SS, STD, ST, cor, turbidez, pH
Orgânicos sintéticos	Carbono orgânico total (TOC), halogenados orgânicos totais (TOX), benzeno, tolueno, xileno, tricloroetileno (TCE), tricloroetano (TCA), tetracloroetano, percloroetileno (PCE), bifenila policlorada (PCB), trihalometanos, aldrin, DDT, fenóis, etc.
Inorgânicos	Dureza, CaCO <sub>3</sub> , pH, SS, STD, ST, condutividade elétrica, turbidez, cor, cloretos, sulfatos, nitrito, nitrato, amônia, nitrogênio, fosfato, fluoreto, cianeto
Metais	Hg, Cd, Cr, Ni, Zn, Pb, Cu, Fe, Mn, etc.
Radionuclídeos	Curies, tipos alfa, beta e gama
Biológicos	Coliformes fecais e totais, contagem de bactérias e de vírus

Fonte: TRESSOLDI & CONSONI, 1998

Nos RSD e nos resíduos inservíveis Classe D, os principais contaminantes são devidos à decomposição da matéria orgânica presente e aos poluentes presentes que, depositados em aterro sanitário, geram o percolado denominado chorume. Já os RCD que eram considerados quimicamente inertes, apesar de não possuírem alto potencial de solubilização, quando sujeitos à lixiviação promovem a mineralização das águas, causando impacto ambiental (OLIVEIRA, 2002). Os contaminantes, se depositados em superfície, atravessam horizontes de solo não saturado e a zona capilar, até atingir a zona saturada. Na Tabela 4.11 é

apresentado um resumo dos principais processos que controlam a migração dos contaminantes. Na zona não-saturada, cujos poros são preenchidos por ar e água, o fluxo da água é dependente da força da gravidade e da forma dos poros, trata-se, portanto, de um fluxo vertical para baixo. Na zona saturada, os poros são preenchidos por água e o fluxo é dependente do gradiente hidráulico e os contaminantes podem se espalhar por grandes áreas e cobrir longas distâncias após período de tempo variável (TRESSOLDI e CONSONI, 1998).

**Tabela 4.11** – Processos que controlam a migração dos contaminantes

<b>PROCESSOS FÍSICOS</b>	<b>DESCRIÇÃO</b>	<b>EFEITOS</b>
Fluxo subterrâneo (advecção)	A água subterrânea flui através de poros e fraturas, em solos e rochas	Transporta contaminantes dissolvidos ou em solução
Dispersão hidrodinâmica	A água subterrânea flui mais rapidamente em alguns poros e fraturas que em outros. Há mistura de águas contaminadas e não-contaminadas	Reduz a concentração, mas aumenta a área atingida pelos contaminantes
Separação Gravimétrica	Líquidos menos densos que a água, como a gasolina, tendem a flutuar no topo dos aquíferos	Dependendo da densidade do contaminante, pode criar zonas de concentração, no topo ou na base dos aquíferos
Filtração	Solos e rochas podem filtrar partículas em suspensão na água subterrânea	Reduz a concentração dos contaminantes em suspensão
Decaimento radioativo	Rearranjo na estrutura atômica, com a formação de elemento mais estável e emissão de energia	Reduz a concentração dos contaminantes radioativos segundo taxas previsíveis, mas com emissão de radioatividade
Volatilização	Contaminantes voláteis evaporam do lençol freático para a zona não-saturada ou para a atmosfera	Reduz a concentração dos contaminantes voláteis
Variação térmica	Contaminantes com temperatura elevada	O calor dos contaminantes afeta as propriedades físicas da água e as propriedades químicas dos resíduos
<b>PROCESSOS QUÍMICOS</b>	<b>DESCRIÇÃO</b>	<b>EFEITOS</b>
Adsorção e troca iônica	Alguns contaminantes dissolvidos tendem a aderir às superfícies dos minerais	Reduz a concentração e/ou a velocidade de migração
Reação de oxidação-redução	Alterações da estrutura molecular e propriedades iônicas dos contaminantes	Pode alterar a toxicidade, comportamento químico e mobilidade dos contaminantes
Hidrólise	Reação com a água, a qual altera a natureza iônica e molecular dos contaminantes	Reduz a concentração dos contaminantes
Complexação	Contaminantes dissolvidos associam-se a outros compostos para formar novos produtos	Pode aumentar a mobilidade dos contaminantes e alterar o comportamento químico
<b>PROCESSOS BIOLÓGICOS</b>	<b>DESCRIÇÃO</b>	<b>EFEITOS</b>
Transformação microbioquímica	Bactérias e outros microorganismos alteram ou decompõem contaminantes orgânicos e alguns inorgânicos através de reações enzimáticas e de respiração	Reduz a concentração de contaminantes. Pode criar novos produtos tóxicos

Fonte: TRESSOLDI & CONSONI, 1998

O transporte de contaminantes não-reativos em meios porosos saturados é dependente dos processos físicos de advecção e dispersão hidrodinâmica. A advecção é um dos principais processos de transporte de contaminantes e deve-se ao fluxo da água subterrânea, já a dispersão hidrodinâmica é a tendência ao espalhamento do contaminante em relação ao caminamento previsto pela advecção, devido à maior ou menor condutividade hidráulica do meio geológico. No caso do meio ser homogêneo, o padrão de migração do contaminante é relativamente fácil de ser monitorado. No caso de heterogeneidades descontínuas, o padrão de migração do contaminante é mais complexo e de difícil monitoramento. É, portanto, de fundamental importância a identificação e a caracterização hidrogeológica das diferentes unidades que compõem as heterogeneidades no meio, para o correto entendimento da migração dos contaminantes.

Os contaminantes reativos são aqueles que sofrem, além dos processos físicos de advecção-dispersão, reações químicas e bioquímicas e, conseqüentemente, têm suas concentrações sujeitas a alterações em decorrência destas reações. As principais reações químicas e bioquímicas podem ser agrupadas nas seguintes categorias: sorção, ácido-base, solução-precipitação, oxidação-redução, complexação e processos microbiológicos.

O mecanismo de sorção é a partição do soluto, entre a fase líquida e a fase sólida, em meio poroso. Durante o movimento da água subterrânea, a transferência do contaminante, presente na fase líquida, para a fase sólida do meio poroso, por sorção ou por outro processo químico, tem como conseqüência o retardamento na velocidade de avanço do contaminante.

A atividade microbiológica da zona não-saturada altera a solubilidade e a mobilidade dos contaminantes. São conhecidas as influências na migração dos contaminantes quando há a liberação de alguns contaminantes, durante a decomposição da matéria orgânica; a imobilização de alguns contaminantes por incorporação nos tecidos dos microorganismos; a oxidação do Fe e do Mn; a influência sobre os compostos de enxofre e nitrogênio; bem como as transformações devido às alterações de pH e do potencial redox.

Na zona saturada, a mobilidade e a solubilidade dos contaminantes são dependentes do potencial redox, da presença de outros constituintes, da qualidade da água, dos tipos de argilominerais, da presença de óxidos-hidróxidos, de matéria orgânica e de microorganismos. De maneira geral, os cátions estão sujeitos à maior atenuação ou redução de suas concentrações que os ânions.

Na zona não-saturada, a biodegradação e a volatilização são as principais formas de atenuação dos contaminantes. Para estes contaminantes, a sorção é maior na presença de colóides orgânicos e limitada na presença de minerais argilosos. São retidos nos poros do solo, onde permanecem sujeitos à lixiviação durante longo período.

Na zona saturada, as condições existentes são, de maneira geral, de preservação dos contaminantes orgânicos. Apesar da solubilidade em água destes contaminantes ser insignificante, geralmente é maior que os limites máximos permissíveis para a saúde pública.

Na área selecionada é necessária a instalação de sistemas de monitoramento pré-operacional, para levantamento do valor médio regional que ocorre naturalmente para os principais contaminantes liberados a partir das disposições e para o detalhamento do projeto e proposição dos sistemas de contenção.

#### **4.10.1.6. Fenômenos geológicos de risco**

A possibilidade de ocorrência de processos geológicos de risco deve ser analisada a priori. Dentro dos riscos naturais, classificados como riscos físicos, são de suma importância os riscos de escorregamento e processos correlatos, de inundação e enchentes e de erosão, principalmente das boçorocas, onde não se deve instalar uma Central de Resíduos sob hipótese alguma.

#### **4.10.2. Seleção de áreas**

O processo de seleção de áreas é iniciado com a fase de pré-seleção, quando devem ser analisados os dados do meio físico em escala regional, para que sejam identificadas várias áreas homogêneas, potencialmente aproveitáveis para a instalação do empreendimento. Essa fase já pode indicar a necessidade de constituição de um consórcio intermunicipal. As informações abrangem aspectos de geologia, solos, relevo, águas subterrâneas, águas superficiais e clima, principalmente intensidade pluviométrica, direção predominante e intensidade de ventos.

Outros dados que devem ser observados para definição das áreas de interesse para implantação das Centrais de Resíduos Sólidos dizem respeito à legislação ambiental federal, estadual e municipal, cujos principais aspectos são: delimitação das áreas de proteção

ambiental, áreas de proteção dos mananciais, parques, reservas e áreas tombadas, áreas com vegetação e espécies protegidas, além de obedecer ao zoneamento urbano do município. Devem ser analisados os dados sócio-econômicos que fornecem as informações para as decisões técnico-administrativas de planejamento urbano como: uso e ocupação do solo, valor imobiliário agregado, distâncias em relação aos centros atendidos, integração à malha viária, disponibilidade de infraestrutura básica e aceitabilidade da população e de suas entidades organizadas.

A ponderação dos diversos dados considerados e a análise integrada destes permite a identificação das zonas mais propícias para instalar a Central de Resíduos Sólidos com aterro sanitário, essas informações condensadas podem ser comparadas como mostra a Tabela 4.12.

**Tabela 4.12** – Critérios para priorização das áreas para instalação de Central de Resíduos Sólidos (fase de pré-seleção de áreas)

Dados Necessários	Classificação das áreas		
	Adequada	Possível	Não-recomendada
Vida útil	Maior que 10 anos	Menor que 10 anos (a critério do órgão ambiental)	
Distância do centro atendido	5-20 km		Menor que 5 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 principal
Densidade populacional	Baixa	Média	Alta
Uso e ocupação das terras	Áreas devolutas ou pouco utilizadas		Ocupação intensa
Valor da terra	Baixo	Médio	Alto
Aceitação da população e de entidades ambientais não-governamentais	Boa	Razoável	Oposição severa
Declividade do terreno	$3 \leq \text{declividade} \leq 20$	$20 \leq \text{declividade} \leq 30$	declividade < 3 ou declividade > 30

Fonte: D'ALMEIDA & VILHENA, 2000.

A avaliação dos dados obtidos na Tabela 4.12 conduz à classificação da área em uma das seguintes categorias:

- **Recomendada:** quando a área poderá ser utilizada nas condições em que se encontra, atendendo às normas vigentes com baixo investimento.

- **Recomendada com restrições:** quando a área poderá ser utilizada, mas necessita medidas complementares de projeto de médio investimento.
- **Não-Recomendada:** quando não se recomenda a utilização da área, em função da necessidade de medidas complementares de projeto de alto investimento e/ou devido a restrições ambientais severas.

Qualquer empreendimento relativo à destinação de RSD e Resíduos Sólidos Industriais deve seguir procedimentos e atender a critérios técnicos que possibilitem ao órgão de Meio Ambiente de cada Estado a aplicação de diretrizes da Resolução CONAMA n.º.001/86. Esta Resolução instituiu a apresentação de Estudo de Impacto Ambiental/Relatório de Impacto Ambiental (EIA/RIMA) para o licenciamento dessas instalações.

Para unidades de triagem e/ou reciclagem dos RSD que processem uma quantidade igual ou superior a 100 t/dia, o EIA/RIMA é obrigatório. Se a quantidade for inferior a 25 t/dia, este poderá ser dispensado, introduzindo-se uma relação de adendos às exigências técnicas para obtenção da licença de instalação. A Resolução não contempla instalações entre 25 e 99 t/dia, de modo que, nestes casos, o órgão fiscalizador do Meio Ambiente deverá ser sempre consultado.

#### **4.10.3. Compostagem**

As unidades de compostagem são unidades que, via de regra, aparecem instaladas de forma que os objetivos em macro escala são: reduzir a quantidade de resíduos a ser disposta utilizando o reprocessamento da fração orgânica dos RSD.

O projeto de uma unidade de compostagem deve ser executado considerando-se as características sócio-econômicas e culturais da população atendida, o projeto adequado acarreta uma diminuição da ordem de 70% da quantidade em massa do RSD destinado aos aterros sanitários (D'ALMEIDA, 2000).

A compostagem é um processo natural, biológico, e como tal, requer o controle de fatores básicos, tais como temperatura, oxigenação e umidade, além disso, exige uma higienização diária das instalações, sendo de fundamental importância o treinamento do pessoal, de modo a se obter um composto de qualidade, compatível com a aplicação a que se destina. As instalações das unidades de compostagem, como mostra a Tabela 4.13, podem

ser agrupadas em cinco setores: recepção e expedição, pátio de compostagem, beneficiamento e armazenamento do composto e outras instalações.

**Tabela 4.13** – Recomendações de projeto para uma unidade de compostagem de RSD

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 coberto com captação de chorume</li> <li>• Paredes de moegas e tremonhas com inclinação de 60<sup>o</sup> em relação à horizontal</li> <li>• Fossos com paredes verticais de um lado e inclinadas do outro</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 90 a 120 dias</li> <li>• No processo acelerado, o tempo de permanência no biodigestor deve ser da ordem de 4 dias</li> <li>• Utilizar leiras com altura entre 1,2 e 1,8m</li> <li>• O pátio deve ser impermeabilizado e ter inclinação de cerca de 2/100 para drenagem de chorume, águas pluviais e águas residuárias</li> <li>• A área de beneficiamento deve conter peneiramento, secagem e armazenamento do composto curado</li> </ul>
Beneficiamento	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Utilizar peneiras rotativas de seção hexagonal: pode-se prever duas malhas para produzir dois tipos de composto, um de abertura grossa e outra fina</li> <li>• Fardos devem ter peso máximo de 40 kg e ser guardados ao abrigo da chuva.</li> </ul>
Outra instalações	<ul style="list-style-type: none"> <li>• As outras instalações existentes (administração, instalações de utilidades: vestiário, sanitários, refeitórios, manutenção, almoxarifado) devem-se situar em posições adequadas para facilitar acesso e evitar contaminação</li> <li>• Sistema de tratamento de efluentes compatível com o tamanho da unidade e com o corpo receptor de seus efluentes</li> </ul>

Fonte: IPT (1993) apud D'ALMEIDA & VILHENA (2000)

Requisitos para obtenção de um composto de boa qualidade:

- Eficiência no processo de pré-tratamento (triagem e trituração) da matéria orgânica;
- Pátios de compostagem bem dimensionados para comportar a produção mensal de matéria orgânica;
- Atenção ao processo de fermentação aeróbia com controle de umidade, temperatura e oxigenação;

- Definição técnica do ciclo de reviramento que basicamente oxigena e controla a temperatura da massa de compostagem;
- Leiras com configuração geométrica definida;
- Desenvolvimento da fase de maturação;

Outro fator de grande importância é a escolha do local de instalação da unidade, uma vez que levantamento elaborado em 1994 sobre o desempenho de 71 usinas de reciclagem e compostagem em operação no Brasil concluiu que as 12 que estavam paradas ou desativadas acusavam como principal causa da paralisação o local de instalação (GALVÃO JR., 1994). Assim, devem ser controlados os possíveis impactos ambientais associados à emissão de odores, chorume e atração de vetores causadores de doenças.

Para usinas de compostagem, em municípios com produção de RSD inferior a 100t/dia, há necessidade de EIA/RIMA quando da existência das seguintes condições:

- empreendimento se destina ao tratamento de RSD;
- sua localização inadequada pode causar impacto ambiental na região;
- os pátios de cura do composto podem ser fontes de poluição de águas de superfície e subsuperfície.

Todas as recomendações e critérios exigidos são válidos também para instalações de unidades de triagem, estações de transbordo e aterros sanitários, incluindo aqueles que operam em conjunto.

#### **4.10.4. Reciclagem de RCD**

A reciclagem dos RCD desponta como solução promissora, todavia não se pode adotá-la isoladamente, sendo preciso que sua aplicação faça parte de um conjunto integrado de ações, capaz de atender às peculiaridades de cada resíduo gerado.

As ferragens, que têm presença marcante nas obras de construção e demolição, também representam perigo aos equipamentos e não são totalmente resolvidas com os separadores magnéticos. A trituração e o peneiramento do material de origem mineral produz grãos com granulometria, forma e dureza muito variáveis e os equipamentos são, frequentemente levados a trabalhar longe de suas condições ótimas.

O canteiro de reciclagem impõe um arranjo de estoques em pilhas que faz com que o melhor local para o mesmo seja afastado dos centros urbanos, como mostra o desenho

esquemático da Figura 4.18. Quanto ao aspecto econômico, a reciclagem da fração mineral requer maciços investimentos iniciais em equipamentos apropriados e requer uma manutenção complexa.



**Figura 4.18** – Esquema de reciclagem na usina de entulho – Fonte: JARDIM et al. (1995)

Existem várias proporções em que os agregados reciclados, produtos da pré-seleção, trituração e peneiramento, podem ser incorporados aos agregados naturais para confecção de novos materiais (LEVY, 1997). O estudo da composição destes materiais, conhecido como dosagem, necessita ser desenvolvido para cada finalidade de aplicação porque os requisitos de propriedades mecânicas definem os parâmetros básicos da dosagem (OLIVEIRA, 2002).

#### **4.10.5. O aterro sanitário**

“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 – NBR 8419).

A minimização dos impactos ambientais associados à disposição de RSD exige estudos prévios, conforme descrição anterior, para garantir a estabilidade dos locais de disposição e a análise de migração de contaminantes. Assim, os requisitos para a proteção do meio ambiente incluem:

- identificação e caracterização dos principais fatores condicionantes geológicos, hidrogeológicos, geotécnicos e geomorfológicos, para escolha do local de disposição;
- definição e acompanhamento do monitoramento pré-operacional;
- definição dos dispositivos de contenção e de coleta dos percolados e das plumas de contaminação;
- definição dos tratamentos prévios de resíduos, dos métodos e do projeto de disposição;
- implementação e acompanhamento do monitoramento operacional e pós-operacional.

Na área pré-selecionada é necessária a instalação de sistemas de monitoramento pré-operacional, para levantamento do valor médio regional que ocorre naturalmente para os principais contaminantes liberados a partir das disposições e para o detalhamento do projeto e proposição dos sistemas de contenção de contaminantes. Deverão ser realizadas investigações de campo detalhadas, com o objetivo de obter os dados do meio físico através de técnicas de investigação diretas e indiretas.

- Técnicas de investigação diretas: execução de sondagens (trados e percussão) ou mecânicas (rotativa), ensaios “*in situ*” (ensaios de bombeamento e de infiltração) ou em laboratório (análises físico-químicas da água, granulometria, limites de Atterberg, permeabilidade e compactação dos solos), vistorias, perfis e levantamento planialtimétrico.

- Técnicas de investigação indiretas: interpretação de levantamento aerofotogramétrico, utilização de métodos geofísicos (sísmicos, sondagem elétrica vertical, etc.), geoprocessamento.

Os procedimentos acima descritos fornecerão subsídios para a elaboração do projeto de aterro sanitário, orientando as plantas, cortes, escavações, cálculo da estabilidade dos taludes e definição de área de empréstimo ou de bota-fora.

A concepção adequada para a deposição de RSU em aterro sanitário deve considerá-lo também como local de tratamento que requer a avaliação das alternativas e sistemas disponíveis, tendo em vista os processos evolutivos de digestão das frações orgânicas, que não foram objeto de compostagem e que se processarão dentro das células. Nesse aspecto pode-se distinguir quatro linhas principais de tratamento nos aterros sanitários: digestão anaeróbia, digestão aeróbia, tratamento biológico e digestão semi-anaeróbia.

#### **a) tratamento por digestão anaeróbia**

A digestão anaeróbia é considerada apenas uma forma sanitária de deposição, já que a inertização dos RSU poderá demorar dezenas de anos, assim, não se constitui num tratamento efetivo e sim num encapsulamento dos resíduos.

#### **b) tratamento por digestão aeróbia**

A alternativa da digestão aeróbia tem sido apontada como a que traz as maiores vantagens para a decomposição dos RSU, porém com custos diretos muito elevados. O processo consiste em injetar ar no RSU, o que provoca uma decomposição muito mais rápida e a não-formação do biogás ( $\text{CH}_4$ ). Este processo exige controle sistemático além de pessoal qualificado para a manutenção.

#### **c) tratamento biológico**

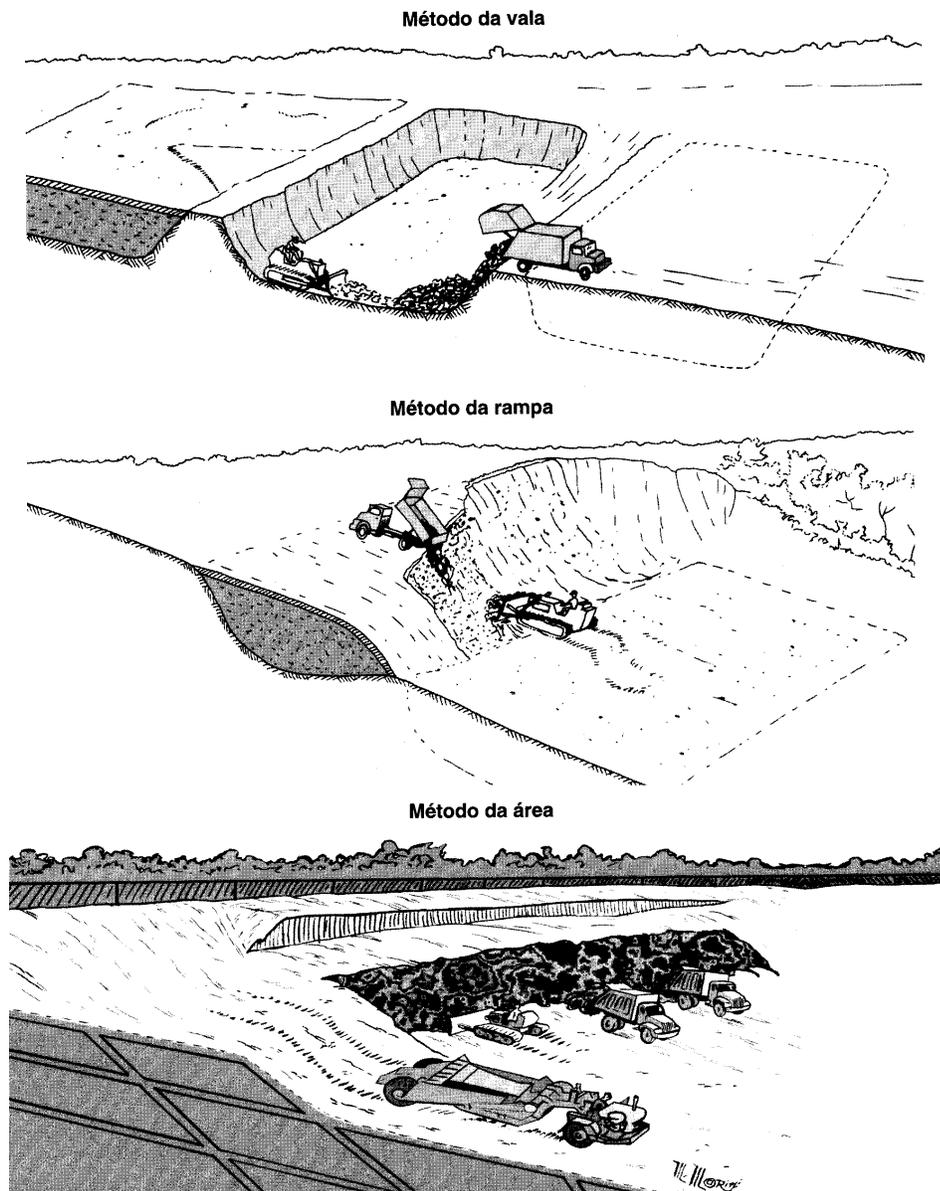
O tratamento acelerado dos resíduos, mediante decomposição biológica em células-reatoras, transforma a fração orgânica sólida do material alterado em líquidos e gases que devem ser coletados e tratados. Ao final há a possibilidade de abertura das células de resíduos, segregação dos compostos orgânicos e destinação final dos resíduos (inertes). Assim o aterro sanitário transforma-se em um local para tratamento, podendo ter, inclusive, o seu volume de resíduos minimizado, mediante técnicas de separação de recicláveis e disposição dos inertes em local específico.

#### **d) tratamento por digestão semi-aeróbia**

Essa concepção procura eliminar as desvantagens de implantação e de operação de sistemas forçados de insufladores de ar nos resíduos, adotando diretrizes preventivas de projeto, privilegiando sistemas de drenagem de biogás e de percolados e a aeração natural por convecção, esse sistema adota o processo de recirculação do percolado e, assim, acelera a digestão. É o método utilizado nos aterros sanitários brasileiros e possui boa relação custo x benefício.

### **4.10.5.1. Sistemas operacionais de aterros sanitários**

São três as formas de aterramento já consagradas e empregadas com sucesso, a saber: método da trincheira ou vala, método da rampa e método da área. (Figura 4.19), que indicam os procedimentos de movimentação dos equipamentos de transporte e descarga.



**Figura 4.19** – Métodos de aterramento. Fonte: D'ALMEIDA & VILHENA (2000)

- Método da trincheira ou vala: consiste na abertura de valas, onde o lixo é disposto, compactado e posteriormente coberto com solo. As valas podem ser de pequenas dimensões (operação manual) ou de grandes dimensões, permitindo a entrada de equipamentos maiores em seu interior;
- Método da rampa: conhecido também como método da escavação progressiva, é fundamentado na escavação da rampa, onde o RSU é disposto e compactado pelo trator e posteriormente coberto com solo. É empregado em áreas de meia encosta, onde o solo natural

ofereça boas condições para ser escavado e, de preferência, possa ser utilizado como material de cobertura;

- Método da área: é empregado geralmente em locais de topografia plana e lençol freático raso.

No aterro, é conveniente que seja mantida preparada uma área operacional mínima, suficiente para os próximos 1 a 2 meses, dependendo da estação do ano (chuvosa/seca).

A opção por um método depende das características físicas, geográficas da área e da quantidade de RSU a dispor.

Sob o sistema de tratamento de impermeabilização da base do aterro sanitário é conveniente, dependendo da profundidade do nível d'água e de sua variação sazonal, projetar um sistema de drenagem de fundação para a coleta de águas naturais do subsolo, para evitar efeitos de subpressão na base.

#### **4.10.5.2 Sistema de impermeabilização de base do aterro**

O sistema de tratamento de base tem a função de proteger a fundação do aterro controlando a infiltração, funcionando como barreira que pretende limitar e controlar a migração de percolados e/ou do biogás, evitando a contaminação do subsolo e aquíferos subjacentes.

Um sistema de tratamento de base deve apresentar as seguintes características:

- a) estanqueidade;
- b) durabilidade;
- c) resistência mecânica;
- d) resistência às intempéries;
- e) compatibilidade físico-química-biológica com os resíduos a serem aterrados e seus percolados.

Normalmente são utilizadas várias camadas de diferentes materiais de modo a compor um conjunto que corresponda às necessidades acima citadas, que possibilitam uma disposição segura.

Os materiais que vêm sendo comumente pesquisados (LEITE & ZUQUETTE, 1996), para construção da base impermeabilizante podem ser agrupados em:

- materiais naturais – compostos pelos solos “*in natura*”, solos compactados, composições de areias, siltes e caulim tratados com bentonita, montmorilonita ou injeções de substâncias cimentantes, concreto e misturas de solo-cimento;
- materiais sintéticos – geomembranas compostas por filmes de polietileno, polipropileno, poliuretano, PVC, concretos asfálticos e aditivos;
- materiais diversos – rejeito da queima de carvão “cinzas volantes” e misturas de minerais com outras substâncias

É importante enfatizar que nos processos de impermeabilização, a garantia da qualidade não está condicionada somente à qualidade dos materiais, mas também ao projeto adequado e ao controle tecnológico da execução, principalmente no caso dos materiais naturais, quando se faz necessária a execução de uma compactação uniforme e satisfatória em toda a extensão da base do aterro. Para seleção das geomembranas, alguns dos mais importantes requisitos, com base nas necessidades do projeto, incluem: comportamento tensão-deformação; resistência à tração sob condições determinadas; compatibilidade química; atrito de interface com os materiais sobre e sob a geomembrana e durabilidade (FONSECA & VERTAMATTI, 2002).

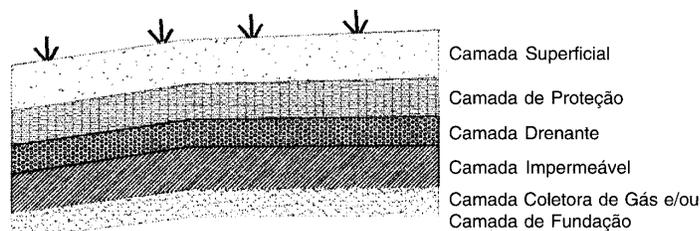
#### **4.10.5.3. Sistemas de cobertura dos resíduos**

Os sistemas de cobertura, tanto diária, como intermediária e final, têm a função de proteger a superfície das células de resíduos, minimizando os impactos ao meio ambiente: eliminando a proliferação de vetores, reduzindo a taxa de formação de percolados, reduzindo a exalação de odores e impedindo a catação. Têm ainda a função de permitir o tráfego de veículos coletores sobre o aterro, eliminar a queima de resíduos e a saída descontrolada do biogás (Figura 4.20).

Entre outras características, os sistemas de cobertura deverão ser resistentes a processos erosivos e adequados à futura utilização da área. A reciclagem dos resíduos Classe A dos RCD próximo ao local do aterro permite a utilização desses agregados artificiais como material de cobertura, uma vez que os constituintes dessa fração são provenientes dos concretos e argamassas, da fração de cerâmicos e do solo de escavação.

A cobertura diária ou intermitente deve ser realizada após o término de cada jornada de trabalho, com uma camada de cerca de 0,20 m de solo.

A cobertura intermediária é necessária naqueles locais em que a superfície de disposição ficará inativa por períodos mais prolongados, da ordem de 30 dias, aguardando por exemplo a definição de um patamar para continuar a receber os resíduos.



Camada	Descrição	Materiais Típicos
1	Camada superficial	Solo; camada geossintética de controle de erosão; blocos rochosos
2	Camada de proteção	Solo; material residual recuperado ou reciclado; blocos rochosos
3	Camada drenante	Areia ou cascalho; georrede ou geocompósitos
4	Camada impermeável	Argila compactada; geomembrana; argila geossintética; rejeitos
5	Camada coletora de gás e/ou camada de fundação	Areia ou cascalho; solo; georrede ou geotêxtil; material residual recuperado ou reciclado

**Figura 4.20** – Componentes de uma camada de cobertura final em aterro sanitário.  
Fonte: D'ALMEIDA & VILHENA (2000)

A cobertura final deve receber uma proteção vegetal, procurando-se integrar o empreendimento ao meio ambiente local. A proteção vegetal é importante para aumentar a evapotranspiração, diminuindo a quantidade de chuva que se infiltra e, conseqüentemente, a quantidade de percolado gerado. É necessário prever a manutenção desse sistema de cobertura, mesmo após o encerramento da vida útil do aterro, garantindo as suas características de projeto. Como pode ser observado é possível o aproveitamento de agregados reciclados provenientes de construção e demolição devidamente selecionados para este fim, o que demonstra uma interface de afinidade bastante intensa, que favorece a disposição conjunta ou codisposição de resíduos.

#### 4.10.5.4. Sistemas de drenagem de águas pluviais

O sistema de drenagem tem por finalidade interceptar e desviar o escoamento superficial das águas pluviais, durante e após a vida útil do aterro, evitando sua infiltração na massa de resíduo e o carreamento das camadas de cobertura.

O dimensionamento da rede de drenagem é dependente da vazão a ser drenada, cuja metodologia segue o procedimento proposto para a drenagem urbana de uma bacia de pequena área de contribuição.

Nos aterros, em geral, o sistema de drenagem de águas pluviais é constituído por estruturas drenantes de meias canas ou canaletas de concreto associadas a escadas de dissipação de energia e tubos de concreto.

As águas pluviais não devem, em nenhuma hipótese, ser misturadas aos líquidos percolados do aterro, pois estes necessitam de tratamento muito mais complexo, o que não ocorre com as águas pluviais que podem seguir diretamente para o corpo d'água receptor, mantendo-se os cuidados para redução de material em suspensão e para evitar erosões no ponto de lançamento.

As águas precipitadas nas imediações dos aterros devem ser captadas e desviadas por canaletas escavadas no terreno original, acompanhando as cotas, de forma a conferir declividade conveniente ao dreno. Dependendo do tamanho da área de contribuição várias dessas canaletas devem ser escavadas e associadas a escadas de dissipação, de forma a diminuir a energia do escoamento superficial.

São chamadas de drenagem provisória as canaletas que serão construídas durante a evolução do aterro que, em função de sua curta duração, não necessitam de revestimento especial, mas devem ser refeitas sempre que necessário. Deve-se garantir uma superfície transitável sobre o aterro, mesmo em época de chuvas, para que os caminhões não tenham seu trabalho interrompido. Uma forma de melhorar o leito carroçável do sistema viário do aterro é o emprego de agregado reciclado proveniente do beneficiamento dos agregados Classe A dos RCD, cuja granulometria deverá ser inferior a 38mm, limite de classificação dos agregados graudos, para garantir o espalhamento e compactação adequada.

As drenagens definitivas são constituídas pelas canaletas que permanecerão ativas mesmo após o encerramento das atividades do aterro, devendo proteger o aterro durante o tempo necessário para que a obra seja reincorporada ao ambiente local.

#### **4.10.5.5. Sistema de drenagem de líquidos percolados e de biogás**

O sistema de drenagem de líquidos percolados deve coletar e conduzir o líquido percolado, reduzindo as pressões destes sobre a massa de resíduos e também minimizando o

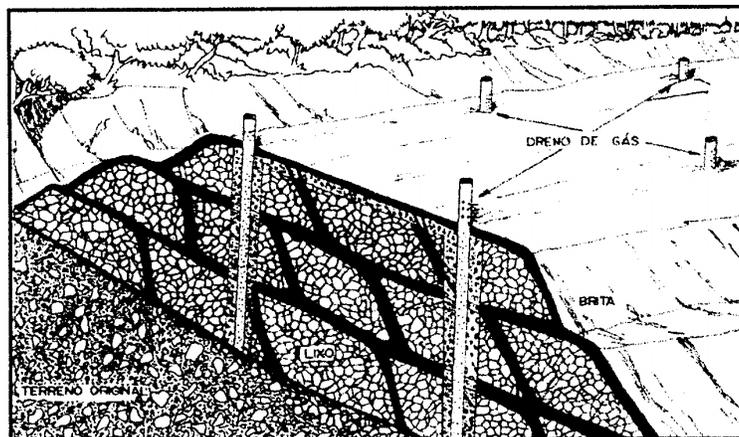
potencial de migração para o subsolo. O interesse em drenar os líquidos percolados é impedir que ele ataque a camada de impermeabilização de base do aterro.

Esse sistema subsuperficial é constituído de drenos de materiais filtrantes com tubo perfurado, direcionando os percolados para o tanque de acumulação, de onde seguirão para um tratamento adequado. Para o dimensionamento desse sistema de drenagem é fundamental o conhecimento da vazão a ser drenada e das condicionantes geométricas da massa de resíduos. Sua concepção dependerá da alternativa de tratamento adotada para o aterro sanitário, podendo inclusive estar associado ao sistema de drenagem de gases.

Para o cálculo da vazão de líquidos percolados a ser drenada pode-se utilizar o Método do Balanço Hídrico que procura expressar o fluxo de água num aterro, considerando:

- a quantidade de água precipitada sobre o aterro;
- a fração que escoia superficialmente, em função do tipo de cobertura e da declividade;
- a parte devolvida à atmosfera pela evapotranspiração;
- a quantidade de água que se infiltra;
- a quantidade de água que fica retida na camada de cobertura, em função da espessura e do tipo de solo utilizado; e
- a quantidade de água que atinge os resíduos, podendo gerar líquidos percolados.

A migração do biogás deve ser controlada pela execução de rede de drenagem adequada, colocados em pontos determinados do aterro. Esses drenos atravessam todo o aterro no sentido vertical, desde o sistema de impermeabilização de base até acima do topo da camada de cobertura. (Figura 4.21)



**Figura 4.21** – Vista geral da superposição de células sanitárias e da distribuição dos drenos de gases em aterros sanitários. Fonte: LEITE (1997)

Os drenos são constituídos basicamente por linhas de canaletas escavadas diretamente no solo ou sobre a camada de cobertura impermeabilizante.

O sistema de drenagem do biogás tem a função de drenar os gases provenientes da decomposição da matéria orgânica, evitando sua migração através dos meios porosos que constituem o subsolo, podendo se acumular em redes de esgoto, fossas, poços e sob edificações, que tanto podem ser internas como externas ao aterro sanitário.

Associados aos drenos verticais, projetam-se drenos horizontais e subverticais que facilitem a drenagem mais eficiente da massa de resíduos. Esses drenos podem ser interligados ao sistema de drenagem de percolados, dependendo da alternativa de solução de tratamento adotada para o aterro sanitário.

Os drenos de biogás nos aterros sanitários são normalmente constituídos por linhas de tubos perfurados, sobrepostos e envoltos por uma camisa de brita, de espessura igual ao diâmetro do tubo utilizado, atravessando verticalmente a massa de resíduos aterrados, desde a base até a superfície superior, constituindo uma chaminé (Figura 4.22). O dimensionamento desses drenos depende da vazão do biogás a ser drenada, o que é feito empiricamente, uma vez que não existem modelos comprovados.

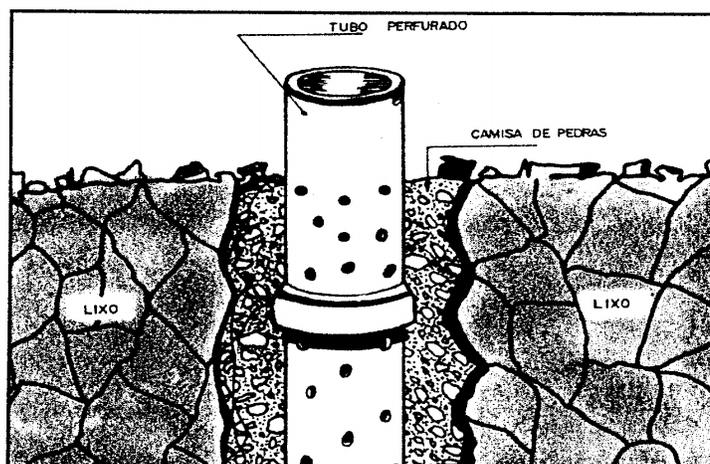


Figura 4.22 –

#### 4.10.5.6. Análise

A análise c  
massa de resíduos  
disposta no aterro deve ser feita a partir de parâmetros específicos e utilizando métodos de  
análise adequados ao tipo e às condições do local considerado.

TE (1997)

A finalidade dessa análise é a obtenção do modelo de ruptura desses maciços para definir a geometria estável do aterro e seus entornos, adotando critérios de segurança adequados às obras de engenharia civil. São considerados os seguintes aspectos:

- estabelecimento de parâmetros iniciais de resistência ao cisalhamento, com base na observação de eventos significativos;
- compressibilidade do solo de fundação local, que depende da conformação geológico-geotécnica do material inconsolidado;
- comportamento geomecânico do maciço de resíduos, avaliando as características de coesão, ângulo de atrito interno e massa específica dos resíduos últimos, que definirão as propriedades de resistência e compressibilidade ao longo do tempo;
- projeto geométrico das células que compreende altura e inclinação dos taludes;
- nível de percolado que condiciona o grau de saturação e sua flutuação dentro da massa de resíduos, os valores de pressão neutra e condições de drenagem de biogás e percolado;
- composição da cobertura final e sua resistência à erosão.

A análise é regida por procedimentos experimentais e teóricos. Os trabalhos de campo incluem inspeções, prospecções e instrumentação, com avaliação dos deslocamentos das pressões internas, das condições pluviométricas e do comportamento e feições superficiais do aterro. Com os dados obtidos, efetua-se a análise, empregando modelos matemáticos e simulações computacionais.

No caso de taludes e maciços terrosos com propriedades mais conhecidas, tem-se referência a valores indicativos de deslocamento e velocidade característicos, para diferentes graus de risco (ABNT – NBR 11.682).

No caso de aterros sanitários, não se tem um histórico semelhante de dados, sendo ainda necessário considerar inúmeros fatores específicos, como:

- a variabilidade dos recalques e deslocamentos com o tempo, com a espessura e grau de decomposição do maciço sanitário e com o estágio de alteamento (carregamento);
- a grandeza de recalques e deslocamentos, sensivelmente superiores à de maciços terrosos e, nem por isso, indicativos de instabilidade;
- a geração de elevadas pressões internas de gases e líquidos

A análise de estabilidade pode ser efetuada utilizando-se métodos convencionais, entretanto é necessário conceber um projeto conservador, com coeficiente de segurança entre

1,5 e 2, tendo em conta o intervalo de variação das propriedades dos resíduos últimos. Para a maior parte dos resíduos, os testes padronizados em laboratório para aferição das propriedades mecânicas não são aplicáveis devido aos seguintes fatores:

- Muitos tipos de resíduos liberam gases durante o ensaio, o que influencia os resultados.
- Materiais putrescíveis podem se deteriorar dentro do aterro e conduzir a uma alteração nas propriedades de resistência mecânica.
- Alguns resíduos são extremamente heterogêneos, como os RSD, e as amostras de ensaio podem não ser representativas.
- É muito difícil conseguir a compactação dos resíduos sólidos em laboratório.

Alguns valores de inclinação dos taludes de aterros de resíduos têm se mostrado estáveis para RSD com variação da relação horizontal/vertical variando de 3H:1V até 4H:1V enquanto que para lodos com conteúdo mínimo de 40% de partículas sólidas o valor é de 8H:1V (BAGCHI, 1990)

#### **4.10.5.7. Sistema de tratamento dos líquidos percolados**

Apesar do sistema de drenagem das águas pluviais, é inevitável a formação de chorume, uma vez que, conforme foi mencionado, o mesmo provem de três fontes: a) umidade natural do lixo, que se agrava sensivelmente nos períodos prolongados de chuva, principalmente se forem usados recipientes abertos no acondicionamento; b) água de constituição dos vários materiais, que sobra durante a decomposição; c) líquidos provenientes da dissolução da matéria orgânica pelas enzimas expelidas pelas bactérias. O excesso escorre como líquido característico de resíduos orgânicos em decomposição.

Deste modo, deverá sempre ser previsto um sistema de coleta e tratamento. Os processos de tratamento empregados são:

- **recirculação ou irrigação:** consiste na aspersão e infiltração dos líquidos percolados de modo a: a) acelerar a decomposição do resíduo e aumentar a capacidade do aterro e b) minimizar o fluxo de percolado destinado à unidade de tratamento;

- **tratamento em lagoas de estabilização:** esse sistema está fundamentado na biodegradação da matéria orgânica do percolado pela ação de bactérias aeróbias e anaeróbias;
- **tratamentos químicos:** os líquidos percolados podem ser tratados por processos envolvendo reações químicas como por exemplo: neutralização, precipitação e oxidação;
- **tratamento por filtros biológicos:** consiste na descarga contínua ou intermitente de despejos poluídos através de um meio biológico ativado, filtros estes que podem ser aeróbios e anaeróbios;
- **tratamento em estações de tratamento de esgoto:** os líquidos percolados são encaminhados para tratamento juntamente com os esgotos domésticos. Esta opção de tratamento deve ser bem avaliada uma vez que a DBO do percolado é muitas vezes superior à do esgoto doméstico.

#### **4.10.5.8. Sistema de tratamento dos gases**

O sistema de tratamento usual é o da queima do biogás proveniente do aterro nos próprios drenos coletores de gases. O gás coletado é queimado em flares.

Existem várias propostas para a utilização do gás do aterro como combustível na geração de energia elétrica, para que seja possível esta utilização é necessário avaliar fatores como:

- volume de gás total e quantidade calculada de gás por dia;
- qualidade do gás de aterro;
- uso econômico proposto do gás;
- retorno de investimento nas instalações para processar ou tratar o gás para a venda.

#### **4.10.5.9. Sistema de Monitoramento**

O monitoramento pressupõe o acompanhamento da evolução de um determinado processo para que se possa realimentar o sistema dinâmico do aterro de modo a poder realizar alterações neste processo. O sistema de monitoramento tem a função de permitir a detecção, em estágio inicial, dos impactos ambientais negativos causados pelo empreendimento,

facilitando a implementação de medidas mitigadoras antes que estes assumam grandes proporções e, dessa forma, torne-se mais difícil sua correção.

Os sistemas de controle ambiental referem-se ao acompanhamento das possíveis plumas de contaminação, iniciando com o levantamento histórico da operação do aterro e adotando os seguintes métodos de investigação:

- a) Métodos geofísicos, como os de eletroresistividade, eletromagnético indutivo e radar de penetração, são úteis na detecção de contaminação da água subterrânea. Os métodos sísmicos de refração e sondagens elétricas são úteis na determinação do topo rochoso, dos limites das diversas camadas e da posição do nível d'água subterrânea. Estes métodos podem fornecer subsídios para o controle da migração dos contaminantes direcionando as etapas seguintes de investigação.
- b) Investigações diretas que devem estar localizadas em áreas não sujeitas à contaminação, a montante da disposição e do fluxo das águas subterrâneas, para fornecer as condições do valor médio regional e também devem ser distribuídas nas áreas do empreendimento e da contaminação e, ainda, a jusante, em local da provável pluma de contaminação. As sondagens são efetuadas com o emprego de equipamentos convencionais e específicos. Uma recomendação, para evitar contaminação entre aquíferos ou camadas, é a não utilização de água, sendo preferíveis os trados ocos, as sondagens à percussão, sem a utilização de água e os trados manuais.
- c) Poços de monitoramento que são utilizados com os seguintes objetivos: efetuar medições do nível d'água subterrânea; coletar amostras de água subterrânea para caracterização geoquímica, investigação da contaminação e da extensão das plumas; efetuar ensaios hidrogeológicos para determinar velocidades e direções do fluxo das águas subterrâneas, condutividades hidráulicas, dispersividades e retardamentos.
- d) Medições do nível d'água para a elaboração de mapas potenciométricos que, juntamente com o conhecimento da anisotropia das condutividades hidráulicas, indicam a direção do fluxo da água subterrânea. Estas medidas devem ser feitas em todos os poços existentes, preferencialmente na mesma data e período. Essas medidas devem ser efetuadas regularmente durante o primeiro ano após a instalação dos poços, para serem verificadas as respostas de água subterrânea às

variações climáticas e para ser avaliada a magnitude da flutuação do lençol freático.

- e) Coleta de amostras de água que deve seguir plano de controle e de garantia da qualidade previamente estabelecido. Antes da coleta os poços devem ser esgotados com o objetivo de coletar amostras representativas do local e não amostras de águas estagnadas no interior do poço. As amostras são coletadas com amostradores por meio de bombeamento e são transferidas para recipientes de vidro ou de plástico, previamente submetidos a procedimentos específicos de descontaminação em laboratório e corretamente identificados com etiquetas adesivas. Algumas determinações devem ser feitas no campo, como as de gases dissolvidos, pH, temperatura, alcalinidade e condutividade elétrica. A frequência mínima das amostragens fundamenta-se na velocidade da água subterrânea e na localização dos poços em relação à fonte, no início do programa recomenda-se frequência maior, que pode ser diminuída à medida que são obtidas tendências gerais.
- f) A investigação da zona não-saturada é importante para alertar, o mais breve possível, sobre a ocorrência de infiltração de contaminantes antes que estes atinjam a zona saturada. É importante o conhecimento da umidade, das relações entre umidade, pressão de sucção e condutividade hidráulica, da condutividade hidráulica saturada e das propriedades geoquímicas, como capacidade de troca catiônica e conteúdo de matéria orgânica dos solos não-saturados. As amostras são obtidas pelos lisímetros, que são cápsulas porosas em cujo interior se produz vácuo, de modo que a água migre do meio não-saturado para o seu interior, por diferença de pressão, instalados em diferentes locais e profundidades. Tensiômetros são utilizados para medir pressões de sucção, que servem para indicar estimativas das direções de fluxo na zona não saturada.

Os dados obtidos nas investigações são utilizados para a concepção de modelos hidrogeológicos, a serem empregados em análises matemáticas de fluxo e transporte de contaminantes. O objetivo destas análises é a estimativa do comportamento das plumas de contaminação, no espaço e no tempo, com ou sem a implementação de medidas mitigadoras ou de sistemas de contenção.

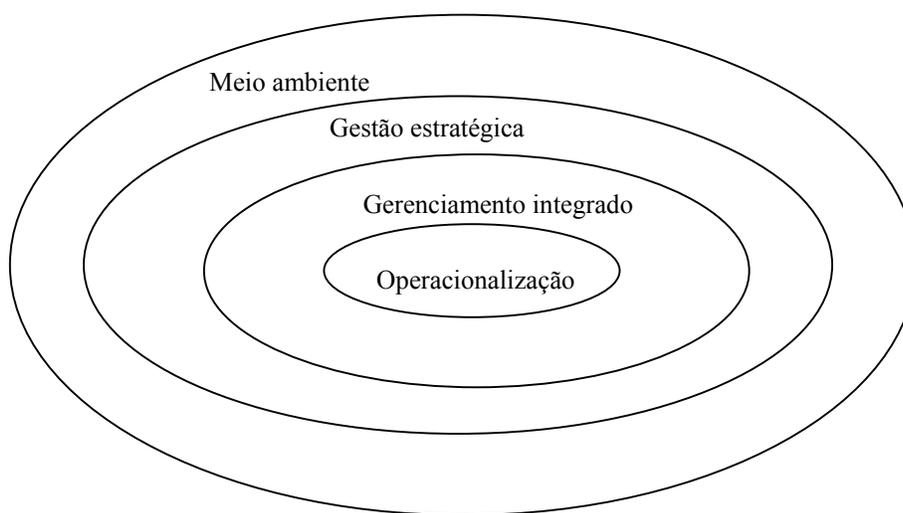
Para a instalação dos sistemas de contenção, como tapetes e selos impermeáveis , é necessário caracterizar completamente os solos e outros materiais utilizados, com o objetivo de investigar sua incompatibilidade com os contaminantes e sua durabilidade em longo prazo. É de fundamental importância investigar o comportamento da condutividade hidráulica dos sistemas de retenção após o contato com os contaminantes.

Os solos de empréstimo, naturais ou proveniente da reciclagem, devem ser submetidos à caracterização completa, com ensaios de compactação, determinação do conteúdo de matéria orgânica, determinações mineralógicas e da capacidade de troca catiônica. Em amostras compactadas devem ser efetuados ensaios de resistência, deformabilidade, alterabilidade, condutividade hidráulica, dispersividade e para determinação do coeficiente de distribuição. Os ensaios de condutividade hidráulica devem ser efetuados com água e com percolado proveniente das disposições de resíduos, uma vez que os parâmetros obtidos no ensaio serão bem diferentes para cada tipo de líquido percolado.

## 5. ANÁLISE DE VIABILIDADE DO MODELO

Para propor o modelo de gerenciamento dos RSU, foi utilizado um enfoque sistêmico, onde se procura adotar uma visão global e abrangente, de modo a visualizar as relações de causa e efeito. Trata-se de um desafio propor uma abordagem dessa natureza no âmbito das políticas públicas, que possuem uma estrutura conservadora e pouco flexível. Por outro lado, a viabilidade do modelo está em poder atribuir alguns segmentos do sistema ao estabelecimento de parcerias com a iniciativa privada.

O enfoque sistêmico modula o problema em subsistemas que permitem uma melhor operacionalização sem considerar os módulos estanques, o que permite a todo instante uma avaliação global. A Figura 5.1 mostra um esquema do enfoque sistêmico aplicado à gestão ambiental.



**Figura 5.1** – Enfoque Sistêmico  
Fonte: ANDRADE et al, 2000.

O caminhar da análise se faz de fora para dentro, selecionando as informações que interessam até obter a operacionalização conveniente do modelo de gerenciamento integrado. A visão sistêmica do problema está associada ao melhor conhecimento da hierarquia dos sistemas gerenciais associada ao fluxo de informação. Não se pretende, assim, um sistema organizacional capaz de tomar decisões de forma autônoma, mas sim dentro de um espectro de alternativas com balizamento dos riscos. A indicação dessas alternativas, para dar suporte às decisões, está na administração adequada do sistema de informações.

Do sistema de decisões se estabelece o de informações que deverá ser capaz de gerar a informação com a velocidade compatível com a exigência da decisão e ser eficiente no conteúdo da informação que deverá responder às críticas quanto ao risco contido na decisão a tomar (LIMA JR., 1990). O sistema de gerenciamento, segundo esse enfoque, está desenhado, como mostra a Figura 5.2, para oferecer as informações necessárias ao processo decisório, com a qualidade e a velocidade requeridas. A informação precária faz com que a decisão seja tomada num nível de risco inaceitável e quando superabundante provoca fadiga.

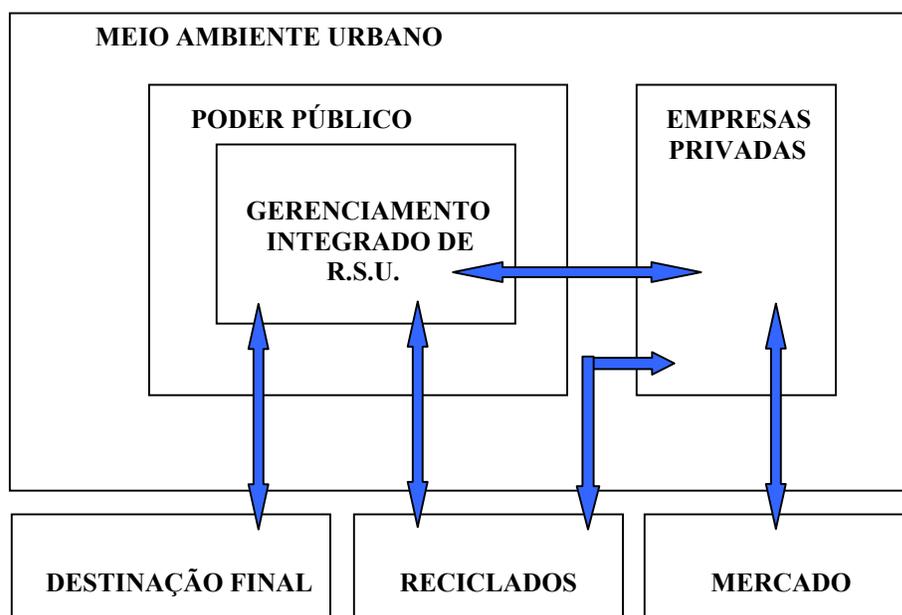


Figura 5.2 – Fluxo de Informações sobre RSU

O gerenciamento de RSU, por sua vez tem sua própria hierarquia. A conhecida hierarquia no gerenciamento de resíduos, introduzida pela primeira vez no segundo Programa Ambiental da União Européia de 1977-81 e sobre a qual há agora consenso geral tem uma representação gráfica mostrada na Figura 5.3.

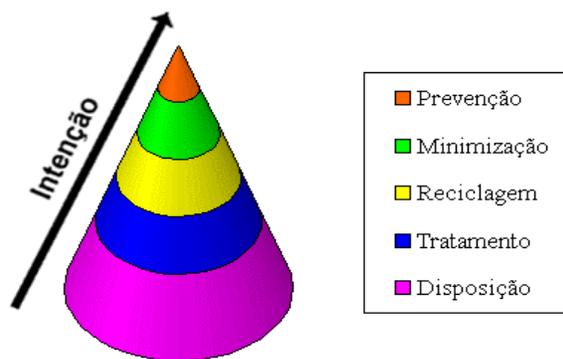
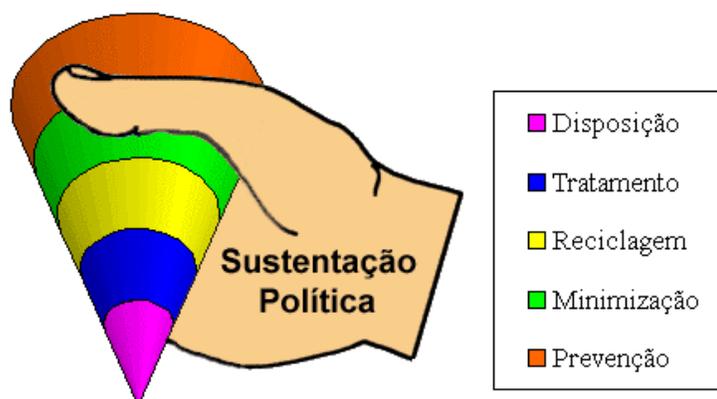


Figura 5.3 – A hierarquia na minimização de resíduos  
Fonte: WILSON, 2000

A opção mais desejada neste modelo é a de se evitar a geração de resíduos em primeiro lugar; se o lixo tiver que ser produzido, então a sua quantidade poderia ser minimizada; obtendo-se quantidades mínimas de resíduos a opção preferida é a reciclagem ou a reutilização dos materiais; a próxima linha de defesa é o tratamento, para se recuperar a energia ou para se reduzir o volume ou o grau de periculosidade do restante dos resíduos; ao final da hierarquia está a disposição.

Depois que o paradigma mostrado na Figura 5.3 de uma pirâmide ou cone ilustrando a hierarquia no gerenciamento de resíduos foi utilizado por inúmeros anos, o diagrama foi então redesenhado, mostrando os volumes aumentando conforme se fosse subindo na hierarquia, que é a real situação que se está buscando em longo prazo.

A Figura 5.4 mostra que quando se redesenha o diagrama desta forma, o sistema parece instável, por isso foi adicionada a mão para dar sustentação ao cone invertido, esse é o estágio da integração das medidas políticas com o controle técnico (a "mão").



**Figura 5.4** – Integração de medidas políticas com o controle técnico  
Fonte: WILSON, 2000

A fraqueza da ‘melhoria técnica’ é a de que ela não faz nada para reverter o contínuo crescimento do volume de lixo que ficou evidente por muitos anos (devido ao aumento populacional, aumento dos padrões de vida e aumento das embalagens). Para se reverter o aumento do volume de resíduos é preciso se privilegiar o topo da hierarquia dos resíduos, que é a prevenção, minimização, segregação e reciclagem, e para fazer isso é necessária a integração das medidas políticas com a tecnologia (WILSON, 2000).

Para uma avaliação do modelo de gerenciamento integrado dos resíduos sólidos urbanos deve-se analisar o modelo sob vários critérios: ambiental, social, político-

administrativo e econômico-financeiro segundo o caminho inverso do enfoque sistêmico, ou seja, uma avaliação que permita qualificar e em alguns casos quantificar a operacionalidade de cada módulo sem, contudo, excluir ou minimizar a importância dos critérios intervenientes que são parâmetros indicadores da sustentabilidade do modelo.

## **5.1 – CRITÉRIO AMBIENTAL**

O critério básico adotado para avaliação do gerenciamento integrado dos RSU é a obediência aos preceitos da Agenda 21: redução, reutilização, reciclagem e recuperação dos recursos naturais para obter um desenvolvimento sustentável. A urbanização continuada tem reforçado a importância de se criar um ambiente construído que seja sustentável para as gerações futuras.

Os procedimentos referentes à redução da geração de resíduos foram mencionados no modelo, mas dependem de uma ação institucional de educação ambiental, que precisa ser feita no âmbito das municipalidades. A educação ambiental, como todo procedimento pedagógico, deve ser contínua e merecer atenção especial. Procedimentos simples de coleta seletiva e entrega voluntária podem, conforme mencionado, ser inviabilizados por falta de mobilização dos membros da comunidade.

A reutilização dos resíduos inorgânicos, como metal, vidro, plásticos e papel, prevista no modelo para acontecer na Área de Triagem e Transbordo, já é uma experiência de sucesso. A ATT do Jaçanã, que atende à região da Zona Norte1 do Município de São Paulo, por exemplo, e que só recebe resíduos provenientes das caçambas estacionárias, totaliza 16% de material reutilizável ou reciclável em usina recicladora.

A destinação à Central de Resíduos Sólidos proporciona uma forma associada de tratamento dos RSU de modo a obter a reciclagem e recuperação dos resíduos numa única área, concentrando esforços e recursos, principalmente para municípios de pequeno e médio porte.

O projeto proposto para a Central de Resíduos Sólidos com o estudo de avaliação dos possíveis impactos ambientais concentra os esforços na prevenção. Os critérios técnicos propostos são passíveis de serem implementados mesmo em municípios de pequeno porte, uma vez que são os mesmos já exigidos para a implantação de aterros sanitários, única técnica considerada segura pelos padrões dos organismos de controle ambiental.

Outra questão de suma importância é a redução dos resíduos a serem destinados ao aterro sanitário, dentro da Central de Resíduos. O comprometimento da vida útil dos aterros deve ser minimizado a partir da concepção de enterrar apenas os resíduos últimos. A Tabela 5.1 apresenta o tempo de decomposição do lixo.

**Tabela 5.1 – Tempo de decomposição do lixo**

<b>Tempo de decomposição do lixo</b>	
Papel	3 a 6 meses
Pano	6 meses a 1 ano
Filtro de cigarro	5 anos
Chicletes	5 anos
Madeira Pintada	13 anos
Nylon	> 30 anos
Plástico / Metal	> 100anos
Vidro	1 milhão de anos
Borracha	indeterminado

Fonte: [www.kapaz.com.br/residuos/index.htm](http://www.kapaz.com.br/residuos/index.htm) (2002)

A Central de Resíduos não aumenta a área necessária para o aterro sanitário, visto que a compostagem e a reciclagem dos RCD – Classe A minimizam a destinação. Além disso, a utilização dos agregados reciclados como material de cobertura do aterro e na pavimentação do sistema viário da própria Central diminui a necessidade de busca de solo de cobertura proveniente de área de empréstimo. Estudos efetuados na Espanha para análise de pré-seleção e coleta de resíduos utilizando metodologia de análise do ciclo de vida dos materiais evidenciou a importância do gerenciamento integrado de resíduos sólidos para melhorar os índices ambientais. Foram avaliados quatro projetos e o que se mostrou mais interessante sob vários critérios de análise foi aquele que estabeleceu a pré-seleção na fonte com coleta seletiva e postos de entrega voluntária (GALLARDO y FERRER, 2001).

## **5.2 – CRITÉRIO SOCIAL**

Uma cidade sustentável deve lutar pela melhoria da qualidade de vida de seus cidadãos, dando-lhes meio ambiente de boa qualidade e oportunidades para automelhorias, deve incentivar a igualdade social e a integridade cultural (CIB, 2000).

A possibilidade de atendimento à rede de carroceiros, que sobrevive do recolhimento dos materiais reutilizáveis e recicláveis provenientes de atividades domésticas e comerciais, organiza e valoriza socialmente a cidade quando oferece a possibilidade de um sistema de unidades de recebimento de entrega voluntária e proporciona a reinserção social de um segmento de população marginalizado. A valorização social, motivada pela regulamentação de suas atividades e aumento da geração de renda produzem o resgate da cidadania.

As cooperativas de catadores já são uma realidade nos municípios que adotaram as unidades de triagem, onde a valorização social também se deu graças ao encerramento dos “lixões”. As unidades de triagem e transbordo de RCD também geram emprego e renda para uma importante faixa da população, o que conduz à inserção social.

Os exemplos encontrados são vários: na ATT do Jaçanã, trabalham nove pessoas, das quais apenas uma tem o cursos fundamental e médio completos (FERRAZ et al, 2001) e, em dezembro de 2000, já existiam duas associações de carroceiros em Belo Horizonte (FIUZA et al, 2001).

### **5.3 – CRITÉRIO POLÍTICO-ADMINISTRATIVO**

No Brasil, embora o município tenha autonomia político-administrativa, deve, antes de agir, observar os princípios e normas constitucionais e a Legislação Federal, Estadual e Municipal. Portanto, os projetos e programas que envolvam o gerenciamento dos resíduos devem estar adequados às normas e às leis.

Face aos incontáveis parâmetros que devem ser observados para a elaboração de modelos de gestão de resíduos e a implementação de programas de gerenciamento dos mesmos, são poucas e recentes as leis abrangentes o suficiente para contemplar todos os aspectos envolvidos.

Por outro lado, a questão torna-se polêmica quando se trata de disciplinar o tratamento e a disposição final dos resíduos, uma vez que as competências do Estado e da União podem, freqüentemente, prevalecer sobre a do Município.

Temas ligados à questão ambiental como, por exemplo, as florestas e os recursos hídricos, receberam disciplina normativa técnica muito antes dos resíduos sólidos que só agora apresentam as primeiras tentativas, principalmente nos campos de regulação, valorização, tratamento e disposição final dos resíduos. Assim ficam estabelecidos conflitos de interesse, sobretudo devido aos seguintes motivos:

- Os municípios não possuem, em sua maioria, sistemas de tratamento e disposição final adequados e com isso tornam-se poluidores e, não raramente, ao tentarem contornar o problema em seu território, encontram resistências do Estado e/ou da União, no tocante ao licenciamento ambiental (conflito intergovernamental vertical);
- Os municípios vizinhos têm dificuldades para encontrar locais adequados para a correta disposição de seus resíduos, gerando problemas entre geradores e receptores (conflito intergovernamental horizontal);
- A forma do consórcio intermunicipal não está ainda suficientemente consolidada, principalmente no âmbito político-institucional, gerando dificuldades internas aos governos municipais, principalmente na aprovação de recursos orçamentários a serem aplicados em outros municípios (conflito político).

Em relação aos dispositivos legais, pode-se destacar a Resolução nº 237/97 do CONAMA de Licenciamento Ambiental e a Lei Federal nº 9605/98, que são novos instrumentos de gestão ambiental.

Em seus artigos 6º e 7º, a Resolução nº 237/97 do CONAMA reforçou o papel a ser assumido pelos municípios, atribuindo-lhes competência de licenciamento ambiental, ao afirmar que “os empreendimentos e atividades serão licenciados em um único nível de competência (...)”. Também o artigo 20, ao determinar que os municípios deverão criar seus conselhos municipais de meio ambiente, com caráter deliberativo, e contar em sua estrutura administrativa com profissionais capacitados, para exercerem a prerrogativa de expedirem licenças ambientais, os fortalece institucionalmente.

A aprovação da Lei Federal nº 9605, em 1998, ao caracterizar como crime ações perpetradas contra o meio ambiente, com penas variando de R\$ 50 a R\$ 50 milhões, obriga os municípios a apresentarem uma estrutura institucional ambiental bem aparelhada, para poderem usufruir o direito de exercer o poder de polícia. E, mais do que isso, conforme seu artigo 68, considera crime a omissão do agente administrativo quanto ao dever legal ou contratual de defender o meio ambiente ou deixar de “(...) cumprir obrigação de relevante interesse ambiental”.

Atualmente encontra-se em tramitação no Congresso Nacional uma proposta que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, estabelece diretrizes e normas para o

gerenciamento dos diferentes tipos de resíduos sólidos e acrescenta artigo à Lei nº 9.605/98 e dá outras providências. O documento traz os seguintes destaques:

- **Classifica os resíduos em: comuns** - que consistem nos chamados resíduos urbanos, ou seja, aqueles provenientes de residência ou com características domiciliares, e os resíduos de limpeza pública urbana e **especiais** - subdivididos em resíduos industriais, minerais, de serviços de saúde, de atividades rurais, de serviços de transporte, radioativos, da construção civil, de serviços e atividades comerciais, tecnológicos, de pneus, da indústria bélica, de embalagens e os considerados perigosos.

- Estabelece os princípios, objetivos e instrumentos, com destaque para a redução da quantidade e nocividade dos resíduos sólidos, a descentralização político-administrativa e a responsabilidade pós-consumo.

- Obriga a elaboração e implantação, pelos municípios e Distrito Federal, de Plano Municipal de Gerenciamento de Resíduos Urbanos e de Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos Especiais.

- Atribui responsabilidade aos municípios e ao Distrito Federal pela coleta e gerenciamento de todo o lixo urbano ou à concessionária desses serviços.

- Autoriza a cobrança da taxa de coleta e gerenciamento de lixo urbano.

- Obriga municípios maiores de 100.000 habitantes a implantar coleta seletiva num prazo máximo de 2 anos.

- Estabelece que os usuários de sistema de coleta serão obrigados a fazer separação do lixo em, pelo menos, orgânico e seco.

- Torna obrigatório o sistema de coleta pelos municípios e Distrito Federal.

- Veda a disposição, para coleta no sistema público, de resíduos comuns e especiais para os quais exista um sistema de retorno instituído pelos fabricantes e comerciantes.

- Cria o Fundo Distrital ou Municipal de Limpeza Urbana.

- Cria o Fundo Federal de Resíduos Sólidos.

- Responsabiliza os fabricantes, importadores e prestadores de serviços que gerem resíduos especiais, pelo gerenciamento dos resíduos decorrentes.

- Cria a figura da empresa exclusivamente recicladora, com isenção de impostos.

- Estabelece cuidados essenciais para o gerenciamento de cada tipo de resíduo e institui a obrigatoriedade de retorno ao fabricante de alguns tipos de resíduos no que se refere aos resíduos especiais.
- Torna obrigatória a apresentação do Plano de Gerenciamento de Resíduos Especiais e/ou Perigosos, conforme regulação do SISNAMA.
- Fixa critérios para a instalação de incineradores e fornos de co-processamento, em relação à redução de resíduos sólidos.
- Estabelece sistemática rígida a ser observada para implantação e gerenciamento de aterros.

SALLES (2001) realizou uma pesquisa elaborada para avaliar o panorama atual e as perspectivas da gestão ambiental municipal no Brasil e enviou questionários para 5498 prefeituras, tendo recebido 233 questionários respondidos onde os novos instrumentos de gestão ambiental, a Resolução CONAMA 237/97 e a Lei Federal 9605/98 estão sendo aplicados respectivamente, por 40,34% e 42,91% das Prefeituras. A Tabela 5.2 abaixo mostra o número de questionários respondidos em relação à população do município e o número de municípios que já dispõem de Agenda 21 Local.

**Tabela 5.2** – Síntese dos resultados dos municípios consultados

Faixa Populacional	Nº municípios c/ questionários respondidos	(% )	Municípios com Agenda 21	
			Nº.	(%)
até 20.000 hab.	120	51,50	28	12,1
de 20.000 a 100.000 hab.	65	27,89	19	8,16
de 100.000 a 500.000 hab.	38	16,31	18	7,73
de 500.000 a 1.000.000 hab.	5	2,15	3	1,29
acima de 1.000.000 hab.	5	2,15	4	1,71
<b>Total</b>	<b>233</b>	<b>100</b>	<b>72</b>	<b>30,9</b>

Fonte: SALLES, 2001.

A Agenda 21 Global, em seu capítulo 28, indica que a participação do governo local na elaboração da Agenda 21 Local é fundamental, pois é ele que irá supervisionar o planejamento, manter a infra-estrutura, estabelecer regulamentações para a implementação de políticas nacionais com o envolvimento da população visando o desenvolvimento

sustentável. Essa participação também é necessária na elaboração da logística que interrompa os efeitos da degradação do meio ambiente e proporcione condições para a sua recuperação. A Tabela 5.3 apresenta os instrumentos legais que estão disponíveis no âmbito dos municípios para implementação das políticas públicas que visam a preservação do meio ambiente.

**Tabela 5.3** – Instrumentos legais disponíveis nos Municípios relativos à temática ambiental

<b>Instrumentos</b>	<b>No de Municípios</b>	<b>(%)</b>
Lei Orgânica	204	87,55
Plano Diretor	79	33,90
Lei de Uso e Ocupação do Solo	93	39,91
Código de Obras	109	46,78
Código Sanitário	56	24,03
Código de Posturas	135	57,94
Código Tributário	117	50,21
Código de Meio Ambiente	57	24,46
Legislação Orçamentária	136	58,36

Fonte: SALLES, 2001.

No município de São Paulo, o instrumento de política pública mais recente é a LEI Nº13.298, de autoria do Vereador Ricardo Montoro promulgada em 16/01/2002 que dispõe sobre as responsabilidades e condições de remoção de entulho, terra e materiais de construção. A LEI Nº13.298/02 em seu Art. 1º delibera que os proprietários, possuidores, incorporadores e construtores de imóveis, geradores de resíduos de construção civil responderão com as empresas ou prestadoras de serviços de remoção, transporte e destinação final desses materiais inertes. Como complementação acrescenta em seu § 1º que as partes responderão pelas respectivas atividades que, por contrato, sejam cominadas a cada uma, dentro dos correspondentes limites de responsabilidade quanto à qualidade do material a ser removido, ao cumprimento das exigências de transporte e de segurança de trânsito e à destinação final dos resíduos. Em seu § 2º, confirma que mesmo na ausência de contrato, as partes responderão solidariamente pela destinação final dos resíduos. Trata-se de um primeiro passo concreto para a administração de um volume de 2500 caçambas/dia (MEDEIROS, 2002).

#### **5.4 CRITÉRIO ECONÔMICO-FINANCEIRO**

Os conceitos de desenvolvimento sustentável estão relacionados, também, a princípios econômicos que estão centralizados na criação de sistemas econômicos equânimes, mas economicamente viáveis, com base ética. Requerem uma distribuição igualitária dos custos reais e dos benefícios entre indivíduos e nações, e entre gerações, bem como numa intervenção e investimentos éticos e no apoio à economia local (CIB, 2000).

A análise da viabilidade econômica da coleta seletiva tem sido motivo de muitos levantamentos e discussões. Trabalhos recentes têm evidenciado que a equação de ganhos econômica com a reciclagem deve incluir os ganhos evitados pela não disposição de toda a massa de resíduos, além dos itens de economia de energia, economia de matérias-primas, economia de água e custos evitados com o controle ambiental (CALDERONI, 1999). De acordo com o autor, são bilhões de reais perdidos nos RSD que deixam de ser incorporados ao ciclo econômico, motivado pela metodologia de análise simplista e segmentada e da mensuração dos ganhos econômicos. A proposta de Gestão Diferenciada de RCD feita por PINTO (1999) também indicou que, para uma situação hipotética de um município com 414.188 habitantes, a reciclagem geraria um gasto 42% menor para a prefeitura que a atual gestão corretiva, que se dedica ao aterramento dos RCD e à remediação de áreas de deposição indevida. O acompanhamento da ATT do Jaçanã mostrou que, apesar de cobrir a Região Norte da Cidade, com população da ordem de 900 mil habitantes, o volume recebido para separação e posterior encaminhamento ao aterro de inertes de Itaquera, distante 30 km, equivale à produção de aproximadamente 160 mil habitantes. A Figura 5.5 mostra a área de abrangência da A.T.T., que corresponde à Zona Norte1, com a respectiva indicação de localização no mapa.



**Figura 5.5** – Mapa da Região Norte1 – São Paulo, SP.  
Fonte: SÃO PAULO EM NÚMEROS, 2002

A área compreende os bairros de Jaçanã, Mandaqui, Santana, Tucuruvi, Vila Guilherme, Vila Maria, Tremembé e Vila Medeiros, totalizando uma população de 881.100 hab (SÃO PAULO EM NÚMEROS, 2002). Os caminhões-caçamba atendem o entorno até uma distância de 12,5 km, segundo informações do administrador da A.T.T..

#### 5.4.1 – Metodologia da análise

A consideração dos ganhos de cada agente econômico com o processo de segregação e reciclagem dos RSU (CALDERONI,1999) é apresentada na Tabela 5.4.

**Tabela 5.4** – Orientação Metodológica proposta para os RSU

<b>PROPOSTA</b>	
$G = (V - V) - C + E + W + M + H + A + D$	(Eq. 5.1)

ONDE:

G = GANHOS COM A RECICLAGEM

V = VENDA DOS MATERIAIS RECICLADOS

C = CUSTO DO PROCESSO DE RECICLAGEM

E = CUSTO EVITADO DE DISPOSIÇÃO FINAL

W = GANHOS DECORRENTES DA ECONOMIA NO CONSUMO DE ENERGIA

M = GANHOS DECORRENTES DA ECONOMIA DE MATÉRIA PRIMA

H = GANHOS DECORRENTES DA ECONOMIA DE RECURSOS HÍDRICOS

A = GANHOS COM A ECONOMIA DE CONTROLE AMBIENTAL

D = DEMAIS GANHOS ECONOMICOS (divisas, subsídios, vida útil dos equipamentos)

---

Fonte: CALDERONI, 1999.

O modelo de gerenciamento integrado de RSU deve incluir outros parâmetros na metodologia acima, para incluir os ganhos obtidos com a Central de Resíduos, onde se processa a reciclagem dos RCD e a compostagem da fração de matéria orgânica. Para calcular o valor global, foram feitas considerações nos termos dos ganhos parciais dos diversos atores nas equações de avaliação, que integram o processo, assim podem ser reescritas na forma que segue:

## 1. Município

$$G_1 = V_1 - C_1 - C_2 + E_1 + E_2 + A_1 + P \quad (\text{Eq. 5.2})$$

onde

$G_1$  – Ganho do município

$V_1$  – Valor de venda dos materiais recicláveis provenientes da coleta seletiva

$C_1$  – Custo do processo de reciclagem dos RSU

$C_2$  – Custo da coleta dos orgânicos e dos inservíveis

$E_1$  – Custo evitado de disposição final de RSU

$E_2$  – Custo evitado de remoção para correção de deposições irregulares dos RCD

$A_1$  – Ganho com a economia de controle ambiental – medidas corretivas (desassoreamento dos rios, limpeza de galerias, obras de contenção em áreas de risco, serviços de pavimentação, etc.).

$P$  – Ganho com a poluição evitada pela menor emissão de poluentes provocada pela queima de combustíveis fósseis nos caminhões transportadores.

## 2. Indústrias

$$G_2 = -V_2 + W_2 + M_2 + H_2 + A_2 + D_2 \quad (\text{Eq. 5.3})$$

onde:

$G_2$  – Ganho da indústria

$V_2$  – Valor de venda dos materiais reciclados (insumos para a indústria)

$W_2$  – Ganho decorrente da economia no consumo de energia

$M_2$  – Ganho decorrente da economia de matérias-primas

$H_2$  – Ganho decorrente da economia de recursos hídricos

$A_2$  – ganho com a economia de controle ambiental

$D_2$  – demais ganhos econômicos

## 3. Sucateiro

$$G_3 = V_3 - C_3 \quad (\text{Eq. 5.4})$$

onde:

$G_3$  = Ganho dos sucateiros

$V_3$  = Valor de venda dos recicláveis

$C_3$  = Custo da reciclagem

#### **4. Caçambeiro**

$$G_4 = V_4 - C_4 - C_5 \quad (\text{Eq. 5.5})$$

onde:

$G_4$  – Ganho dos caçambeiros

$V_4$  – Valor de venda do serviço de caçamba ao gerador

$C_4$  – Custo do transporte e manutenção

$C_5$  – Custo da deposição na ATT

#### **5. Carroceiro/Catador**

$$G_5 = V_5 + I \quad (\text{Eq. 5.6})$$

onde:

$G_5$  – Ganho dos carroceiros

$V_5$  – Valor de venda dos recicláveis

$I$  – Inclusão social

#### **6. Área de Triagem e Transbordo**

$$G_6 = V_6 - C_6 - C_7 \quad (\text{Eq. 5.7})$$

onde:

$G_6$  – Ganho da ATT

$V_6$  – Valor de venda do serviço aos caçambeiros

$C_6$  – Custo da segregação e manutenção da área

$C_7$  – Custo do transporte até a Central de Resíduos

#### **7. Central de Resíduos**

$$G_7 = V_7 + V_8 - C_8 - C_9 - C_{10} + E_3 + W_3 + M_3 + A_3 \quad (\text{Eq. 5.8})$$

onde:

$G_7$  – Ganho da Central de Resíduos

$V_7$  – Valor de venda dos compostos

$V_8$  – Valor de venda do agregado reciclado

$C_8$  – Custo da compostagem

$C_9$  – Custo da reciclagem dos RCD – classe A

$C_{10}$  – Custo da deposição no aterro sanitário

$E_3$  – Custo evitado para aquisição do material de empréstimo

$W_3$  – Ganho decorrente da economia no consumo de energia para produção dos agregados

$M_3$  – Ganho decorrente da economia da exploração de jazidas

$A_3$  – Ganho com a economia de remediação de áreas degradadas pela mineração

## 8. Governo Estadual

$$G_7 = D_3 \quad (\text{Eq. 5.9})$$

onde:

$G_7$  – Ganho do governo estadual

$D_3$  – Demais ganhos econômicos

## 9. Governo Federal

$$G_8 = D_4 \quad (\text{Eq. 5.10})$$

onde:

$G_8$  – Ganho do governo federal

$D_4$  – Demais ganhos econômicos

## 10. Sociedade

Para obter a Equação Geral, considera-se que os valores totais são a somatória dos valores parciais acima descritos, assim:

$$\mathbf{G = (V - V) - C + E + W + M + H + A + P + I + D} \quad (\text{Eq. 5.11})$$

O cálculo dos ganhos possíveis com a implementação do modelo de gerenciamento integrado dos RSU foi alterado (Eq. 5.11), pois se passou a considerar mais duas parcelas de modo a incluir a questão do custo evitado de poluição (P) e do custo social (I).

O ganho da sociedade como um todo é dado pela expressão acima onde os valores de V entram com sinal positivo sobre o ponto de vista de quem vende, como a Central de Resíduos, os carroceiros, os catadores e os caçambeiros. Para quem compra, o sinal é negativo, como é o caso da Indústria e dos sucateiros que compram a matéria-prima. Para a sociedade como um todo não há ganho nem perda, independente do valor de comercialização dos reciclados.

O item C é denominado de Custos Incorridos, onde estão incluídos os custos dos processos de reciclagem, que para alguns materiais inclui transporte, armazenamento, enfardamento e os custos administrativos.

Os custos (E) evitados de disposição final abrangem o aterro, o transporte e o transbordo, incluem ainda o custo evitado com a correção necessária para a remoção dos resíduos depositados em locais inadequados, como nos rios, terrenos públicos e áreas de risco. No caso da Central de Resíduos aparece o item referente ao custo evitado com o material de empréstimo, uma vez que o próprio agregado reciclado de RCD – Classe A pode ser usado como material de cobertura do aterro sanitário.

Os ganhos (W) decorrentes da economia no consumo de energia fazem parte de todos os estudos de análise do ciclo de vida dos materiais, uma vez que a produção de materiais recicláveis requer um consumo de energia significativamente menor do que a produção a partir de matéria-prima natural.

Os ganhos (M) advindos da economia de matérias-primas como bauxita, celulose e resinas termoplásticas advém do fato destas já estarem contidas nos materiais recicláveis. Já no caso dos reciclados, significa minimizar a exploração das jazidas de agregados minerais.

Os ganhos (H) são decorrentes da economia de recursos hídricos durante os processos de fabricação que requerem um consumo maior de água quando partem da produção com matéria-prima natural.

Os ganhos (A) com a economia de controle ambiental devem-se ao fato de que a produção a partir da matéria-prima natural provoca um impacto poluidor muito superior ao da produção a partir de materiais recicláveis, tanto na exploração de jazidas como nos processos industriais de fabricação de alguns materiais como o vidro ou o plástico. A economia de controle ambiental deve incluir a diminuição de gastos com a remediação de áreas degradadas.

Os ganhos (P) são devidos à menor emissão de poluentes, pelo fato de diminuir a frota de caminhões caçamba que são submetidos a transbordo nas A.T.Ts., afetam diretamente os

municípios e, conseqüentemente, a qualidade de vida da população. Em municípios que possuem uma grande frota de veículos e sérias dificuldades para o escoamento do tráfego, como o Município de São Paulo, pode se transformar em um valor muito significativo.

Os ganhos (I) são denominados ganhos com a Inclusão Social. Dizem respeito à organização, valorização e pertinência social dos catadores e carroceiros, que em geral fazem parte de uma camada da população localizada abaixo da linha de pobreza. A coleta seletiva e os postos de recebimento de entrega voluntária são, muitas vezes, administrados por cooperativas de catadores, que através desses mecanismos conseguem obter um ganho fixo e garantias trabalhistas, o que os transforma em cidadãos.

Os ganhos (D) são de difícil mensuração e decorrem da redução de dispêndios com a saúde pública, com divisas para a aquisição de insumos como petróleo, geração líquida de empregos e podem ser vistos tanto na esfera estadual quanto na federal.

O ganho total da Sociedade pode ser calculado, pela Eq. 5.11, como a somatória de todos os ganhos, o que indica um valor de R\$ 899,50 por tonelada de resíduo reciclado, a partir dos dados apresentados abaixo, na Tabela 5.5. Os valores obtidos nas referências de 1999 e 2001 foram atualizados de acordo com a variação cambial do dólar vigente na época, conforme indicado.

**Tabela 5.5** – Ganhos econômicos em R\$ / t

RSU	V	V	C	E	W	M	H	A	P	I
Recicláveis da coleta seletiva e da ATT	170,3 <sup>(1)</sup>	170,3 <sup>(1)</sup>	-51,1 <sup>(1)</sup>	61,4 <sup>(1)</sup>	179,9 <sup>(1)</sup>	471,7 <sup>(1)</sup>	95,8 <sup>(1)</sup>	1,0 <sup>(1)</sup>	-	49,6 <sup>(4)</sup>
Composto Orgânico	35,0 <sup>(2)</sup>	35,0 <sup>(2)</sup>	-35,7 <sup>(2)</sup>	61,4 <sup>(1)</sup>	-	-	-	1,0 <sup>(1)</sup>	-	35,0 <sup>(4)</sup>
Agregados reciclados de RCD	12,6 <sup>(3)</sup>	12,6 <sup>(3)</sup>	-6,3 <sup>(3)</sup>	25,0 <sup>(4)</sup>	3,0 <sup>(4)</sup>	1,6 <sup>(4)</sup>	0,2 <sup>(4)</sup>	2,0 <sup>(4)</sup>	4,0 <sup>(4)</sup>	-

(1) – CALDERONI, 1999 – valores atualizados (US\$ 1,00 = R\$ 2,00 – 02/1999).

(2) – PINTO, 1999 - valores atualizados (US\$ 1,00 = R\$ 2,00 – 02/1999).

(3) – ABREU, 2001 - valores atualizados (US\$ 1,00 = R\$ 2,40 – 06/2001).

(4) – Valores estimados com base nos dados da ATT do Jaçanã (US\$ 1,00 = R\$ 2,50 – 03/2002).

A análise desse modelo econômico demonstra que os recicláveis, obtidos pela coleta seletiva, pela entrega voluntária e segregados na A.T.T. fornecem comparativamente ganhos

unitários (em R\$ / t) bem maiores para a Sociedade que os demais resíduos (composto orgânico e agregado reciclado de RCD) totalizando R\$ 808,30 por tonelada de resíduo reciclado. Isso ocorre porque os custos evitados com o consumo de energia e o consumo de matéria prima são proporcionais ao custo dos próprios produtos que possuem alto valor agregado. O composto orgânico reciclado fornece à Sociedade um ganho significativo de R\$ 61,70 por tonelada, motivado principalmente pelo ganho devido à Inclusão Social da população de catadores. Já a reciclagem dos RCD gera um ganho unitário total de R\$ 29,50 por tonelada de resíduo reciclado, o ganho maior ocorre nos custos evitados (E) com a disposição em aterros e com a remediação de áreas degradadas, além do custo evitado (P) pela queda na quantidade de emissão de poluentes atmosféricos. Assim, dado que os RCD estão sendo gerados em quantidades cada vez maiores, se forem reciclados acabarão produzindo um ganho total para a Sociedade que pode ser da mesma ordem de grandeza da economia possível com a reciclagem dos demais RSU.

Para efeito de análise, foi feita a simulação para todo o Município de São Paulo:

- Geração diária de RSD – 11.180 t
- Geração diária de RCD – 12.000 t

De acordo com dados práticos fornecidos pelos recicladores:

- Coleta Seletiva de RSD – 30%
- Compostagem de RSD – 30%
- Segregação de recicláveis nos RCD – 3,80%

Quantidade diária de recicláveis produzidos:

- Recicláveis da coleta seletiva de RSD .....397 t
- Recicláveis nos RCD.....456 t
- Total de recicláveis.....853 t
- Composto orgânico.....2.340 t
- Agregados reciclado de RCD.....6.240 t

**Cálculo dos Ganhos totais da Sociedade por dia:**

$$G = (853 \times R\$ 808,30) + (2324 \times R\$ 61,70) + (6240 \times R\$ 29,50)$$

Os ganhos obtidos G da Sociedade totalizam R\$ 1.017.000,00 por dia, que podem ser maiores, caso a coleta seletiva aumente e a Sociedade perceba a necessidade de mobilização, o que demonstra as possibilidades do modelo proposto.

## 6. CONCLUSÕES

A pulverização de ações quanto à disposição final dos resíduos sólidos faz com que não se tenha uma solução abrangente e sim soluções corretivas paliativas que descaracterizam o problema e inviabilizam o controle do processo final de gerenciamento dos resíduos sólidos urbanos.

O presente estudo se dedicou a propor um novo modelo de gerenciamento integrado de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU), em função da presença marcante das deposições irregulares em áreas urbanas e da falta de políticas públicas que organizem o aprimoramento da qualidade do ambiente construído.

Os sistemas de gerenciamento, segundo o enfoque sistêmico, não têm seu desenho definido por regras rígidas, mas são orientados por conceitos sobre como deve fluir a decisão. Os conceitos evoluem constantemente, crescem e mudam em função da própria evolução dos indivíduos. Assim ocorre com o ambiente construído que deve ser visto como um sistema dinâmico, em constante evolução, que exige uma avaliação permanente de informações e cujas decisões podem garantir a qualidade de vida e o desenvolvimento das gerações futuras.

Procurou-se ponderar, na análise relativa ao reaproveitamento, reciclagem e reutilização de novos materiais, além da durabilidade e dos fatores econômicos, a expressiva contribuição ambiental intrínseca aos preceitos da Agenda 21 e a possibilidade de agregar um valor ecológico ainda maior aos resíduos sólidos urbanos, principalmente os Resíduos de Construção e Demolição (RCD).

O conjunto das unidades componentes da Central de Resíduos Sólidos permite que sejam desenvolvidas as atividades de processamento e beneficiamento dos resíduos sólidos urbanos e, além disso, seja possível economizar área do aterro sanitário, uma vez que a destinação final está reservada apenas aos resíduos “últimos” não reaproveitáveis.

Os resíduos industriais não foram considerados nesse estudo tendo em vista que suas especificidades impedem uma prévia avaliação, ou seja, cada município deverá analisar quais os tipos de resíduos produzidos em seu parque industrial de modo a poder verificar os tipos de tratamento e disposição correta com possibilidade de eventualmente propor a codisposição dos resíduos no aterro sanitário ou a implantação de um aterro industrial.

A questão do custo não pode ser analisada tão somente do ponto de vista econômico. É necessário também que se considere que a geração tanto de RSD como dos RCD e RSSS é

inevitável, e que a questão ambiental deve ser sempre tratada de modo a não transferir para as futuras gerações o ônus da recuperação das áreas degradadas e a carência de produtos exauríveis, contrariando as premissas do desenvolvimento sustentável. Nesse sentido o modelo de análise de viabilidade econômica introduziu novas variáveis de ganho, com o objetivo de incorporar os ganhos evitados com os prejuízos ao meio ambiente e ainda considerar os ganhos devidos à inclusão social da parcela de atores mais carentes e marginalizados do processo.

O modelo demonstrou viabilidade de acordo com critérios ambientais de princípios hierárquicos de avaliação, critérios sociais e critérios político-administrativos. Para o Município de São Paulo foi feita a simulação do modelo econômico de ganhos evitados, o que demonstrou a viabilidade de sua implementação.

A economia como um todo apresentou um valor de R\$ 899,50 por tonelada de resíduo reciclado, deste valor 89,86 % corresponde aos recicláveis provenientes da coleta seletiva, dos postos de recebimento de entrega voluntária e da triagem das A.T.Ts. como papel, plástico, alumínio, vidro e metais ferrosos, 6,86 % corresponde aos resíduos que receberam o tratamento de compostagem e deram origem ao composto orgânico e 3,28 % é o percentual que corresponde ao agregado reciclado de RCD. Os ganhos por dia, com consideração das taxas atuais de geração e os potenciais históricos de sucesso na coleta seletiva e na reciclagem podem facilmente ultrapassar o valor de R\$ 1.000.000,00.

Os valores obtidos não podem ser extrapolados para todas as situações, dadas as características de uma metrópole, assim, a viabilidade econômica para outros municípios dependerá dos diferentes arranjos institucionais.

Devem ser estimulados os consórcios municipais no tratamento e destinação final de RSU, uma vez que apenas municípios de médio e grande porte possuem infra-estrutura técnica e quantidade de geração de RSD, de RCD e de RSSS suficiente para viabilizar soluções isoladas. Os municípios consorciados poderão formar um grupo que, por seu tamanho e complexidade, poderá atrair o interesse da iniciativa privada para operar as Centrais de Resíduos Sólidos Urbanos, sob fiscalização do poder público e da comunidade.

## 7. BIBLIOGRAFIA

ABREU, M.F.; CHERNICARO, P.D.; INÁCIO, R.A.C.; FIUZA, S.M.; MOTA, M.L.A.; SILVA, M.E.C.; CHENNA, S.I.M. & LAGE, W.M. – **Plano para Minimização dos Resíduos Sólidos Urbanos de Belo Horizonte – período 2000-2004** – Anais do 21º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, ABES, João Pessoa, PB, 2001.

ALBOREDA, S. & GANDOLLA, M. – **Importância do Armazenamento de Materiais Recicláveis – Avaliação e proporções** - In: Anais do IX SILUBESA – Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, ABES, Porto Seguro, BA, 2000.

ANDRADE, A.; SOUZA, U.E.L.; PALIARI J.C. & AGOPYAN, V. – **Estimativa da quantidade de entulho produzido em obras de construção de edifícios**. IV Seminário “Desenvolvimento Sustentável e a Reciclagem na Construção Civil: Materiais Reciclados e suas Aplicações” - IBRACON- CT 206. pp.65-74, São Paulo, Brasil, 2001.

ANDRADE, R.O.B.; TACHIZAWA, T. & CARVALHO, A.B. – **Gestão Ambiental – Enfoque Estratégico Aplicado ao Desenvolvimento Sustentável**. Makron Books, São Paulo, 2000.

ÂNGULO, S.C.; ZORDAN, S.E. & JOHN, V.M. – **Desenvolvimento sustentável e a reciclagem de resíduos na construção civil**. IV Seminário “Desenvolvimento Sustentável e a Reciclagem na Construção Civil: Materiais Reciclados e suas Aplicações” - IBRACON- CT 206. pp.43-56, São Paulo, Brasil, 2001.

ARAGÃO, J.M.S. & ALENCAR, B.S. – **Sistemas de Limpeza Urbana em Municípios Pernambucanos: Proposta para Atuação do Governo Estadual na Formulação de um Modelo de Gestão de Resíduos Sólidos**. In: Anais do IX SILUBESA – Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, ABES, Porto Seguro, BA, 2000.

- ASSIS, C.S. & OLIVEIRA, M.J.E. – **Codisposição de Resíduos Sólidos Urbanos**, III Seminário “Desenvolvimento Sustentável e a Reciclagem na Construção Civil: Práticas Recomendadas”- IBRACON- CT 206. pp.113-114, São Paulo, Brasil, 2000.
- ALKER,S.C., R.W. SARSBY & R. HOWELL. – Proceedings of the Symposium Green’93 – Geotechnics Related to the Environment, Bolton, United Kingdom, 28 june – 1 july, pp. 215-223, 1993
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. – **Apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos** - NBR 8419. São Paulo, SP, Brasil, 1984.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. – **Resíduos sólidos – classificação** - NBR 10004. São Paulo, SP, Brasil, 1987.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. – **Estabilidade de Taludes** - NBR 11682. São Paulo, SP, Brasil, 1991.
- BAGCHI, A. – **Design, Construction, & Monitoring of Sanitary Landfill**, John Wiley & Sons, Inc., 283p., New York, 1990.
- BARREIRA, L.P. & PHILLIPPI Jr., A. – **Panorama da Situação do Tratamento e Disposição de Resíduos Sólidos Urbanos na Cidade de São Paulo: Aterros Bandeirantes e Sítio São João** - Anais do 21º. Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, ABES, João Pessoa, PB, 2001.
- BARROS, F.P. & MONTICELLI, J.J. – **Aspectos Legais**, Geologia de Engenharia, Cap. 33, ABGE, São Paulo, 1998.
- BATALHA, B.M.L.(1980) *Glossário de Engenharia Ambiental*: Brasília, Ministério das Minas e Energia apud ROCHA, A.A. **A história do lixo**. In: Resíduos Sólidos e Meio Ambiente. Secretaria do Meio Ambiente São Paulo, SP, Brasil, 1993.

- BITAR, O.Y. & ORTEGA, R.D. – **Gestão Ambiental**. Geologia de Engenharia, Cap.32, ABGE, São Paulo, 1998.
- BITAR, O.Y. – **Desafios à Sustentabilidade Ambiental da Mineração e Uso de Agregados Naturais em Áreas Urbanas**. In: Anais do II Seminário sobre Desenvolvimento Sustentável e a Reciclagem na Construção Civil. Comitê Técnico CT 206 – Meio Ambiente. IBRACON – Instituto Brasileiro do Concreto. IPT, Anais pp. 1-13, São Paulo, SP, Brasil, junho 1999.
- BRAGA, F.S.; NÓBREGA, C.C.; HENRIQUES, V.M. – **Estudo da Composição dos Resíduos Sólidos Domiciliares em Vitória – ES**. Revista Limpeza Pública, ABLP, No.55, p.11, São Paulo, Abril, 2000.
- BRITO FILHO, J. A. – **Cidade versus Entulho**. In: Anais do II Seminário: Desenvolvimento Sustentável e a Reciclagem na Construção Civil – CT206-IBRACON, S.P., 1999.
- BUILDING CONTRACTORS SOCIETY OF JAPAN B.C.S.J. – **Proposed standard for the use of recycled aggregate and recycled aggregate concrete**. Committee on Disposal and Reuse of Construction Waste, 1977.
- CALDERONI, S. – **Os bilhões perdidos no lixo**. Ed. Humanitas, 348p., São Paulo, 1999
- CAMPOS, R. – **Proposta de Sistematização e Reavaliação do Processo de Gerenciamento de Serviços de Coleta Seletiva de Resíduos Sólidos Domiciliares**, Dissertação de Mestrado, EESC/USP, São Carlos, 104p., 1994.
- CARVALHO, E.T. & PRANDINI, F.L. – **Áreas Urbanas**, Geologia de Engenharia, Cap. 31, ABGE, São Paulo, 1998.
- CASTRO, M.C.A.A. – **Avaliação da eficiência das operações unitárias de uma usina de reciclagem e compostagem na recuperação dos materiais recicláveis e na**

- transformação da matéria orgânica em composto**, Dissertação de Mestrado, EESC/USP, São Carlos, SP, 107p., 1996.
- CASTRO NETO, P.P. et al. – **Resíduos Sólidos Industriais – série atas n.º. 1**, CETESB/ASCETESB, 182p., São Paulo, 1985.
- CEMPRE - Compromisso Empresarial para Reciclagem. Acessado em 04/03/2002 no Website <http://www.cempre.org.br>.
- CETESB – **Inventário Estadual de Resíduos Sólidos Domiciliares. Diário Oficial do Estado de São Paulo**, Vol.110, No. 87, maio, São Paulo, SP, 2000.
- CETESB – **Relatório de Qualidade do Ar no Estado de São Paulo -1999**. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, São Paulo, SP, 2000.
- CETESB – **Resíduos Sólidos Urbanos e Limpeza Pública**. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, São Paulo, SP, 1990.
- CETESB – **Aterro Sanitário** (Apostilas Ambientais). Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, São Paulo, SP, 40p, 1997.
- CHWIF, L. – **Redução de Modelos de Simulação de Eventos Discretos na sua concepção: uma abordagem causal**. Tese de Doutorado, Depto. de Engenharia Mecânica, EPUSP, São Paulo, 1999.
- CIB – **Agenda 21 para a Construção Sustentável**. Tradução do relatório CIB – Publicação 237, São Paulo, 131p, novembro, 2000.
- COSTA, A.C.F. & SATTLER, M.A. - **Caracterização dos Resíduos Sólidos Domiciliares de Porto Alegre: Descrição dos Aspectos Mais Relevantes**. In : II Simpósio Internacional de Qualidade Ambiental - Anais – 2º. vol. – pp.56-62, PUCRS, Porto Alegre, RS, Brasil, out. 1998.

- COTTAS, L.R. – **Definição de áreas adequadas para instalação de aterros industriais e sanitários em Rio Claro – S.P.** Simpósio sobre Barragens de Rejeitos e Disposição de Resíduos – REGEO’91, pp.253-261, Rio de Janeiro, 1991.
- COTTAS, L.R. – **Estudos Geológico – Geotécnicos Aplicados ao Planejamento Urbano de Rio Claro – SP.** Tese de Doutorado, UNESP/RC, Rio Claro, SP, 2v., 1983.
- D’ALMEIDA, M.L.O. & VILHENA, A. – **Lixo Municipal: Manual de gerenciamento integrado.** Instituto de Pesquisa Tecnológicas do Estado de São Paulo, IPT, CEMPRE, 2ª. Edição, São Paulo, SP, Brasil, 2000.
- DE BAPTISTI, E. – **Operação de aterro para resíduos inertes. Formas alternativas para reciclagem de entulho.** In: Anais do RESID’99 Seminário sobre Resíduos Sólidos – ABGE – S.P., 1999.
- DE BAPTISTI, E. ; HACHEN, F. – **Pedreira Itaquera : Metamorfose da Mineração. Uma breve história sobre a “Pedreira de Itaquera”.** In: Anais do III Seminário Desenvolvimento Sustentável e a Reciclagem na Construção Civil: Práticas Recomendadas – IBRACON – S.P., 2000.
- FAVELA NOVA REPÚBLICA – Website acessado em 19/04/2002.  
[www.observatoriodaimprensa.com.br/obstv/obstv20042000.htm](http://www.observatoriodaimprensa.com.br/obstv/obstv20042000.htm).
- FERRAZ, G.R.; MASSUDA, O.; ASSIS, C.S.; OLIVEIRA, M.J.E.; ZAMATARO, R.S.I.; PIRES, M.A.F.; OLIVEIRA, M.C.B. & AMORIM, A.S. – **Estações de classificação e transbordo na cidade de São Paulo.** IV Seminário “Desenvolvimento Sustentável e a Reciclagem na Construção Civil: Materiais Reciclados e suas Aplicações” - IBRACON- CT 206. pp.75-86, São Paulo, Brasil, 2001.

- FIUZA, S.M.; MAGNI, T. & REGUEIRA, I.S.R – **Projeto para Unidades de Recolhimento de Entulho de Construção Civil** - Anais do 21º. Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, ABES, João Pessoa, PB, 2001.
- FOLHA DE SÃO PAULO – **Brasil não trata lixo de serviços de saúde** – 14/04, São Paulo, SP, 2002.
- FOLHA DE SÃO PAULO – **Fortuna jogada no lixo** – 26/02, São Paulo, SP, 2000.
- FONSECA, C.E. & VERTAMATTI, J.C. – **Geomembranas em Aterros Sanitários**. Revista Engenharia. Ed. 545, 2001.
- FRANGIPANE, E.F.; FERRARIO, M. & PASTORELLI, G. – **Gerenciamento de resíduos sólidos municipais nas áreas metropolitanas da Europa – uma estratégia integrada**. Livro anual da ISWA, pp.16-27, 1998/1999. Acessado em 23/03/2000 no Web site <http://www.abrelpe.com.br/iswa/iswa-0004.html>.
- FRANKENBERG, C.L.C. et al. – **Gerenciamento de Resíduos e Certificação Ambiental**. EDIPUCRS, Porto Alegre, 399p.,2000.
- GALLARDO, R.V.A. & FERRER, J. – **Análise Integrada dos Projetos de Pré-Seleção e Coleta de Resíduos Implementados em Cidades Espanholas**. Waste Management and Research, Vol.19 – No.05, out.2001.
- GALVÃO JUNIOR, A.C. – **Aspectos Operacionais relacionados com Usinas de Reciclagem e Compostagem de Resíduos Sólidos Domiciliares no Brasil**. Dissertação de Mestrado, EESC/USP, São Carlos, 90p., 1994.
- GANDOLLA, M. & ACAIA, C. – **Reali Possibilitá per lo Smaltimento finale dei Fanghi di Depurazione**, Curso sobre Gerenciamento de Resíduos Sólidos, Porto Alegre, RS, Brasil, out 1998.

- GROVER, V. – **Índices Ambientais: Uma Visão Geral** – ISWA Times, N<sup>o</sup>.3, 2001.  
<http://www.abrelpe.com.br/iswa/iswa-0018.html> acessado em 07/07/2002.
- GUIMARÃES, L.T. – **Utilização do Sistema de Informação Geográfica (SIG) para Identificação de Áreas Potenciais para Disposição de Resíduos na Bacia do Paquequer, Município de Teresópolis – RJ.** Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Rio de Janeiro, 2000.
- HONG KONG POLYTECHNIC (Department of Building and Real Estate); THE HONG KONG CONSTRUCTION ASSOCIATION LTD. – **Reduction of Construction Waste, Final Report.** Hong Kong, 93p., march 1993.
- JARDIM, N.S. et al. – **Lixo Municipal: Manual de gerenciamento integrado.** Instituto de Pesquisa Tecnológicas do Estado de São Paulo, IPT, CEMPRE, São Paulo, SP, Brasil, 1995.
- JOHN, V.M. & AGOPYAN, V. – **Reciclagem de Resíduos de Construção.** Seminário – Reciclagem de Resíduos Sólidos Domiciliares, SMA - CETESB, São Paulo, 2001.
- JOHN, V.M. – **Reciclagem de Resíduos como Materiais de Construção Civil – Contribuição à Pesquisa e Desenvolvimento,** Tese de Livre Docência, EPUSP, São Paulo, 120p., 2000.
- JOHN, V.M. – **Panorama sobre a Reciclagem de Resíduos na Construção Civil.** In: Anais do II Seminário: Desenvolvimento Sustentável e a Reciclagem na Construção Civil – CT206/ IBRACON, S.P., 1999.
- JOHN, V.M. – **Construção e Desenvolvimento Sustentável.** Revista Qualidade na Construção, São Paulo, p.34, 1999.
- KHAN, Q. – **Regulamentação do Lixo – O Próximo Milênio.** Livro Anual da ISWA pp. 45-49, 1999/2000.

- KAIMOTO, L.S.A.; CEPOLLINA, M.; ABREU, R.C. – **Alguns Aspectos sobre Recalques e Deslocamentos Horizontais em Aterros Sanitários**, In Anais do 4º. Congresso Brasileiro de Geotecnia Ambiental – REGEO'99, ITA, São José dos Campos, SP, 1999.
- LATTERZA, L. – **Concreto com Agregado Graúdo Proveniente da Reciclagem de Resíduos de Construção e Demolição**, Dissertação de Mestrado, EESC/USP, São Carlos, 78p., 1998.
- LEITE, J.C. & ZUQUETTE, L.V. – **Avaliação de Materiais Inconsolidados para Uso em Liners**, Revisão Bibliográfica , EESC/USP, São Carlos, 201p., 1996.
- LEITE, W.C.A. – **Estudo do Comportamento da Temperatura, pH e teor de Umidade na Decomposição de Resíduos Sólidos Urbanos em Aterros Sanitários**, Dissertação de Mestrado, EESC/USP, São Carlos, 167p., 1991.
- LEITE, W.C.A. – **Estudo da Gestão de Resíduos Sólidos: uma Proposta de Modelo Tomando a Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos (UGRHI) como Referência**, Tese de Doutorado, EESC/USP, São Carlos, 253p., 1997.
- LEITE, W.C.A. ; SILVA, J.U.L.; CASTRO, M.C.A.; SCHALCH, V. – **Gestão de Resíduos Sólidos – Arranjos Institucionais, Aspectos Legais e Mecanismos de Financiamento: A Experiência Brasileira**, In: Anais do IX SILUBESA – Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, ABES, Porto Seguro, BA, 2000.
- LELYS, M.P.N. & PEREIRA NETO, J.T. – **Usinas de Reciclagem de Lixo: Porque não funcionam?** Anais do 21º. Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, ABES, João Pessoa, PB, 2001.
- LEVY, S.M. – **Reciclagem do Entulho de Construção Civil, para Utilização como Agregado de Argamassas e Concretos**. Dissertação de Mestrado - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 145 p, São Paulo, SP, Brasil, 1997.

- LIMA, J.A.R. – **Proposição de Diretrizes e Elaboração de Textos Básicos para Normalização de Resíduos de Construção Reciclado e de suas Aplicações em Argamassas e Concretos**, Dissertação de Mestrado, EESC/USP, São Carlos, 78p., 1999.
- LIMA JR., J.R. – **Gerenciamento na Construção Civil – Uma abordagem sistêmica**. BT - 27/90, Departamento de Engenharia de Construção Civil, EDUSP, São Paulo, 1990.
- LUCA, S.J.; DEUS, A.B.S. – **O Lixo e o Meio Ambiente nas Administrações Brasileiras**. In: Anais do IX SILUBESA – Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, ABES, Porto Seguro, BA, 2000.
- MEDEIROS, F. – **Resíduos da construção – Leis e projetos tentam solucionar o destino final do material que sobra nas obras**. Revista Qualidade na Construção, Ano 4, No. 26, pp.6-10, SindusCon-SP, 2002.
- MELO, V.L.A. & JUCÁ, J.F.T. – **Diagnóstico Ambiental em Aterros de Resíduos Sólidos a Partir de Estudos de Referência**. Anais do 21º. Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, ABES, João Pessoa, PB, 2001.
- MILANEZ, B. & TEIXEIRA, B.A.N. – **Contextualização de Princípios de Sustentabilidade para a Gestão de Resíduos Sólidos Urbanos**. Anais do 21º. Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, ABES, João Pessoa, PB, 2001.
- MOREIRA-NORDMAN, L.M. – **Geoquímica e Meio Ambiente**. Geochimica Brasiliense, pp. 87-107, INPE, São José dos Campos, SP, 1987.
- MUNIZ, A.C.S.; LEITE, V.D.; PRASAD,S. & BRITO, A.L.F. – **Avaliação da Transformação de Carbono Total e Atenuação de Cromo Total de Resíduos Sólidos Urbanos e Industriais no Processo de Codisposição Aeróbia** – In: Engenharia Sanitária e Ambiental, Vol. 5, Nº.1/Nº.2, pp.77-82, Rio de Janeiro, 2000.

- NOVAES, A.G. – **Modelos em Planejamento Urbano, Regional e de Transportes**. Ed. Edgard Blücher, São Paulo, 1981.
- NEDER, L.T.C. & ROCHA, A.A.– **Reciclagem de resíduos sólidos de origem domiciliar: análise de programas institucionais de coleta seletiva**. Revista Limpeza Pública, No 46, Novembro, pp.15-27, 1997.
- OLIVEIRA, M.J.E. – **Materiais Descartados pelas Obras de Construção Civil: Estudo dos Resíduos de Concreto para Reciclagem** – Tese de Doutorado – IGCE/UNESP – Rio Claro, 191p., 2002.
- OLIVEIRA, M.J.E.; MATTOS, J.T. & ASSIS, C.S. – **Resíduos de concreto: Classe III versus Classe II**. IV Seminário “Desenvolvimento Sustentável e a Reciclagem na Construção Civil: Materiais Reciclados e suas Aplicações” - IBRACON- CT 206, pp. 87-95, São Paulo, Brasil, 2001.
- OLIVEIRA, M.J.E & ASSIS, C.S. – **Estudo da Reciclagem de Resíduos Gerados Pela Construção Civil** – In: II Simpósio Internacional de Qualidade Ambiental - Anais – pp. 99-104, PUCRS, Porto Alegre, RS, Brasil, 1998.
- OLIVEIRA, S. et al. – **Caracterização Física dos Resíduos Sólidos Domésticos (RSD) da Cidade de Botucatu / SP**. Revista Engenharia Sanitária e Ambiental, vol. 4, no.3/no.4, Rio de Janeiro, 1999.
- ONISHI, E.Y. – **Legislação Ambiental Aplicada à Mineração** – In: Anais do II Seminário: Desenvolvimento Sustentável e a Reciclagem na Construção Civil – CT206/IBRACON, S.P., 1999.
- OPS/CEPIS/PUB/96.15 – **Guia para el manejo interno de resíduos sólidos em centros de atención de salud**, Lima, Peru,1996.

- ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. Centro de Informação das Nações Unidas no Brasil – Rio de Janeiro. – **Agenda 21: resumo da Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, 1992**, ONU-Cinub, 45p., Rio de Janeiro, RJ, 1993.
- ORTH, M.H.A. – **Planos Diretores de Resíduos Sólidos no Estado de São Paulo** – In: Resid'99: Seminário sobre Resíduos Sólidos. ABGE; Anais. pp.27-33, São Paulo, Brasil, set. 1999,
- PERA, J. – **State of Art Report – Use of Waste Materials in Construction in Western Europe**. In: Workshop – Reciclagem e Reutilização de Materiais de Construção Civil. Proceedings: USP, São Paulo, Br, pp.1-19, nov. 1996.
- PHILIPPI Jr, A.; RODRIGUES, J.E.R.R. & SALLES,C.P. – **Agenda 21: Algumas Experiências Internacionais como Subsídio para o Caso Brasileiro** - Anais do 21<sup>o</sup>. Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, ABES, João Pessoa, PB, 2001.
- PHILIPPI Jr, A. – **Agenda 21 e Resíduos Sólidos**. In: Resid'99: Seminário sobre Resíduos Sólidos. ABGE; Anais.. pp.3-12, São Paulo, Brasil, set. 1999.
- PIMENTEL Jr, A.C.N. – **Monitoramento integrado em aterro sanitário com codisposição de resíduos sólidos industriais não inertes :experiência do município de Limeira-SP**. Dissertação de Mestrado, EESC/USP, São Carlos, 78p., 1998.
- PINHEIRO, C. – **Como funciona um aterro industrial**. Revista Limpeza Pública, No 46, Novembro, pp. 3-5, 1997.
- PINTO, T.P. – **Reciclagem de Resíduos da Construção Urbana no Brasil. Situação Atual**. In: Workshop Reciclagem e Reutilização de Resíduos como Materiais de Construção Civil; Anais, pp.159-170, São Paulo, SP, Brasil, 1996.

- PINTO, T.P. – **Metodologia para a Gestão Diferenciada de Resíduos Sólidos da Construção Urbana**. Tese de Doutorado, EPUSP, São Paulo, 189p.,1999.
- PINTO, T.P. – **Bacias de Captação de Resíduos Sólidos – Instrumento para uma Gestão Sustentável**. In: Anais do III Seminário Desenvolvimento Sustentável e a Reciclagem na Construção Civil: Práticas Recomendadas – IBRACON – S.P., 2000.
- PITTA, M.R. & MARCIANO JR.,E. – **Construção e Reabilitação de Pavimentos: Concreto e Meio Ambiente**. In: Anais do II Seminário: Desenvolvimento Sustentável e a Reciclagem na Construção Civil – CT206/ IBRACON, S.P., 1999.
- POLÍTICA NACIONAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS – Acessado em 19/04/2002 no Web site <http://www.kapaz.com.br>.
- QUADROS, B.E.C.; OLIVEIRA, A.M.V.;SANT’ANNA, A.F.; LEÃO,I.M.A.; SAGOT,J.; LEAL,R.C. – **Gestão Diferenciada do Entulho na Cidade do Salvador**. In: Anais do IX SILUBESA – Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, ABES, Porto Seguro, BA, 2000.
- QUARESMA FO., A.R. – **Câmaras Ambientais de CETESB, um Caminho para a Solução de Conflitos de Legislação**. In: Anais do II Seminário: Desenvolvimento Sustentável e a Reciclagem na Construção Civil – CT206/ IBRACON, S.P., 1999.
- REICHERT, G.A. & CAMPANI, D.B. – **O Modelo de Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos Implantado em Porto Alegre**. In: Anais do IX SILUBESA – Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, ABES, Porto Seguro, BA, 2000.
- REVISTA BIO – Revista Brasileira de Saneamento e Meio Ambiente, Ano XI, No. 14, p. 15, Abril a Junho, 2000.

REVISTA MEIO AMBIENTE INDUSTRIAL, **A situação atual dos resíduos hospitalares no Brasil** – Ed. 29, no. 28, janeiro/fevereiro de 2001.

REVISTA SANEAMENTO AMBIENTAL, Ano XI, No. 67, p. 24, Julho de 2000.

REVISTA SANEAMENTO AMBIENTAL, Ano XI, No. 63, p. 32, pg.44, Março de 2000.

REVISTA SANEAMENTO AMBIENTAL, Ano X, No. 60, pp. 30-39, 1999.

ROCHA, A.A. & NEDER, L.T.C. –**Agravos sanitários e ambientais decorrentes do tratamento e/ou disposição de resíduos sólidos nas áreas de proteção de mananciais – RMSP.** Revista Limpeza Pública, No 46, Novembro, pp. 7-14, 1997.

RUSHBROKK, P.E. – **Trinta anos de desenvolvimento científico no gerenciamento de resíduos: Do esclarecimento à armadilha,** ISWA Times, Ed. No.1, 2001

RUSHBROKK, P.E. – **Co-disposal of industrial wastes with municipal solid wastes.** Resources, Conservation and Recycling, v.4 n. 1-2, pp.33-49, 1990.

SÃO PAULO EM NÚMEROS – Website <http://www.prodiam.sp.gov.br> acessado em 04/04/2002.

SALLES, C.P. & ASSUNÇÃO, J.V. – **Quadro atual e perspectiva da Gestão Ambiental Municipal no Brasil.** Anais do 21º. Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, ABES, João Pessoa, PB, 2001.

SCHMIDT, M.J.M.S. & SILVA, O.H. – **Resíduos gerados pela Construção Civil: Aterro de Inertes – Práticas Recomendadas.** In: Anais do III Seminário Desenvolvimento Sustentável e a Reciclagem na Construção Civil: Práticas Recomendadas – IBRACON – S.P., 2000.

- SILVA, A.M. & SCHULZ, H.E. – **Influências do uso de resíduos vegetais (lixo-verde) como cobertura morta no controle de erosão do solo e nas variáveis físicas e químicas da Água do Escoamento Superficial.** In: Engenharia Sanitária e Ambiental, Vol. 5, N<sup>o</sup>.1/N<sup>o</sup>.2, pp.83-89, Rio de Janeiro, 2000.
- SILVEIRA, G.T.R. – **Metodologia de caracterização dos resíduos sólidos, como base para uma gestão ambiental. Estudo de caso: entulhos da Construção Civil em Campinas – São Paulo.** Dissertação de Mestrado, UNICAMP, Campinas, SP, 193p., 1993.
- TAYLOR, D.C. – **Políticas de incentivos para minimizar a geração de Resíduos Sólidos Municipais,** Waste Management & Research, Vol.18, pp.406-419, 2000.
- TCHOBANOGLIOUS, G.; THEISEN, H.; VIRGIL,S. – **Integrated solid waste management: engineering principles and management issues,** McGraw-Hill, 978 p., New York, 1993.
- TRESSOLDI, M. & CONSONI, A.J. – **Disposição de Resíduos .** Geologia de Engenharia, Cap.21, ABGE, São Paulo, 1998.
- TRICHES, G. & KRYCKYJ, P.R. – **Aproveitamento de Entulho da Construção Civil na Pavimentação Urbana.** In: Anais do 4<sup>o</sup>. Congresso Brasileiro de Geotecnia Ambiental – REGEO’99 – S. José dos Campos, 1999.
- TROCOLI, M.J.M. & MORAES, L.R.S. – **Política Nacional de Resíduos Sólidos: Contribuição à Análise das Limitações à sua Implementação.** In: Anais do IX SILUBESA – Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, ABES, Porto Seguro, BA, 2000.
- VAZQUEZ, E. – **Aplicación de Nuevos Materiales Reciclados en la Construcción Civil.** IV Seminário “Desenvolvimento Sustentável e a Reciclagem na Construção Civil: Materiais Reciclados e suas Aplicações” - IBRACON- CT 206. pp.11-21, São Paulo, Brasil, 2001.

XAVIER, L.L. & ROCHA, J.C. – **Diagnóstico do resíduo da construção civil – início do caminho para o uso potencial do entulho.** IV Seminário “Desenvolvimento Sustentável e a Reciclagem na Construção Civil: Materiais Reciclados e suas Aplicações” - IBRACON- CT 206. pp.57-63, São Paulo, Brasil, 2001.

WILSON, D.C. – **Direções no Gerenciamento de Resíduos – passado, presente e futuro.** Livro anual da ISWA, pp.31-36, 1999/2000. Website acessado em 23/03/2001 <http://www.abrelpe.com.br/iswa/iswa-011.html>.