



LIXO MUNICIPAL



MANUAL DE GERENCIAMENTO INTEGRADO



LIXO MUNICIPAL

MANUAL DE GERENCIAMENTO INTEGRADO

4ª edição
(revista e ampliada)

LIXO MUNICIPAL

MANUAL DE GERENCIAMENTO INTEGRADO

4ª edição
(revista e ampliada)

© 1995, Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S.A. – IPT
Av. Prof. Almeida Prado, 532, Cidade Universitária “Armando de Salles Oliveira”
05508-901 – São Paulo-SP
ou Caixa Postal 0141 – CEP 01064-970 – São Paulo-SP
Telefone: (11) 3767-4000 – Telefax: (11) 3767-4099
www.ipt.br – E-mail: ipt@ipt.br

© 1995, Compromisso Empresarial para Reciclagem – CEMPRE
Rua Urussuí, 300, cj. 31, Itaim Bibi
04542-050 – São Paulo-SP
Telefone: (11) 3889-7806/8564
www.cempre.org.br – E-mail: cempre@cempre.org.br

Impresso no Brasil.

EQUIPE TÉCNICA DA 1ª EDIÇÃO

Coordenação Geral: Niza Silva Jardim (IPT), Christopher Wells (CEMPRE).

Coordenação Técnica do Manual: Fernando Luiz Prandini, Maria Luiza Otero D’Almeida, Niza Silva Jardim, Vinícius Gomes Taveira Mano, Christopher Wells.

Equipe Técnica do IPT: Alexandre Ferraz Naumoff, Ângelo José Consoni, Armênio Gomes Pinto, Clarita Schwartz Peres, Cláudio Barbieri da Cunha, Claudio Sbrighi Neto, Clovis Benvenuto, Colin Graham Rouse, Ernesto Freire Pichler, Fernando Henrique de Almeida Sobral, Francisco Di Giorgi, Giovanna Antonia Cavalieri Parzanese, Isabel Cristina da Silva, José Luiz Albuquerque Filho, José Mangolini Neves, Luiz Tsuguio Hamassaki, Marcelo Eduardo Giacaglia, Marcio Angelieri Cunha, Oscar Terada, Paulo Borges Teixeira Junior, Paulo Breno de Moraes Silveira, Regina Célia T.S. Cortez, Risomá Chaves.

Equipe Técnica do CEPAM: Ana Rita Machado, Berenice Terezinha Mastro, Elizabeth Teixeira Lima, Helvio Nicolau Moisés, Mariana Moreira, Roberto José Assumpção, Sílvia R.C. Salgado.

Consultores: Alberto Pereira de Castro, Dan Moche Schneider, Edmar José Kiehl, Gerson Barbosa, Lesley Gasparini Leite, Natália de Mello Araújo Ferreira.

EQUIPE TÉCNICA DA 2ª EDIÇÃO

Coordenação Geral: Maria Luiza Otero D’Almeida (IPT), André Vilhena (CEMPRE).

Coordenação Técnica do Manual: Maria Luiza Otero D’Almeida (IPT), Roberto Domenico Lajolo (IPT), André Vilhena (CEMPRE).

Equipe Técnica do IPT: Ademar Hakuo Ushima, Alberto José Moitta Pinto da Costa, Alexandre Ferraz Naumoff, Ângelo José Consoni, Antônio Gimenez Filho, Armênio Gomes Pinto, Clarita Schwartz Peres, Ernesto Freire Pichler, Evaristo Pereira Goulart, Flávio Beneduce Neto, Isabel Cristina da Silva, Jader Vieira Leite, José Mangolini Neves, Luis Carlos Urenha, Luiz Tsuguio Hamassaki, Mara Lúcia Siqueira Dantas, Marilyn Mariano dos Santos, Mauro Silva Ruiz, Regina Maria Bueno de Azevedo, Rogério Parra, Wolney Alves.

Autores autônomos: Christopher Wells, Cláudia Cristina Castro Gonzalez, Cláudio Barbieri da Cunha, Niza Silva Jardim.

Consultores: Alberto Pereira de Castro, Lúcia Bastos Ribeiro de Sena.

Revisão: Vilma Tavares Teves Varalta.

Projeto e produção gráfica: PÁGINAS & LETRAS – Editora e Gráfica Ltda.

EQUIPE TÉCNICA DA 3ª EDIÇÃO

Coordenação Geral: André Vilhena

Coordenação Técnica do Manual: Aline Paschoalino, Ivo Milani, Luciana Ziglio

Coordenação da atualização: Sérgio Adeodato

Projeto e produção gráfica: Walkyria Garotti

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)

L788 Lixo municipal: manual de gerenciamento integrado / Coordenação geral
André Vilhena. – 4. ed. – São Paulo (SP): CEMPRE, 2018.
316 p. : il. ; 11.264 kbytes

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-85-87345-02-8

1. Coleta seletiva. 2. Limpeza urbana. 3. Lixo – Administração.

4. Reciclagem. I. Compromisso Empresarial para Reciclagem.

II. Vilhena, André.

CDD 352.63

Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422

COMPROMISSO EMPRESARIAL PARA RECICLAGEM - CEMPRE

Presidente

Victor Bicca

Diretor Executivo

André Vilhena

Conselho Editorial

Isabela Marchi, Luiz Gustavo Ortega, Venancio Forti

ASSOCIADOS DO CEMPRE

ADM do Brasil Ltda.

Ajinomoto do Brasil Ind. e Com. Ltda.

Ambev - Cia. de Bebidas das Américas

Arcor do Brasil Ltda.

Braskem S.A.

BRF - Brasil Foods S/A

Cargill Agrícola S.A.

Ceras Johnson Ltda.

Coca Cola Brasil

Colgate-Palmolive Industrial Ltda.

Companhia Brasileira de Distribuição – Grupo Pão de Açúcar

Dan Vigor Ind. e Com. de Laticínios Ltda

Danone Ltda.

Femsa Brasil

Heineken - Cervejarias Kaiser Brasil S.A.

Hershey do Brasil Ltda

HP Brasil Ind. e Com. de Equip. Eletrônicos Ltda.

Klabin S.A.

MacDonald's - Arcos Dourados Com. de Alimentos Ltda.

Mondelez Brasil

Nestlé Brasil Ltda.

Nestlé Waters Brasil - Bebidas e Alimentos Ltda

Owens-Illinois do Brasil Ind. e Com. Ltda.

Pepsico do Brasil Ltda.

Saint-Goban Vidros S.A.

SIG Combibloc do Brasil Ltda.

Tetra Pak Ltda.

Unilever Brasil Ltda.

Publicação IPT – 1ª edição: 2163 – 2ª edição: 2622

1ª edição: 1995 – Tiragem: 7.700 exemplares

Reimpressão: 1996 – Tiragem: 2.000 exemplares

Reimpressão: 1998 – Tiragem: 1.500 exemplares

2ª edição: 2000 – Tiragem: 4.000 exemplares

Reimpressão: 2000 – Tiragem: 2.000 exemplares

Reimpressão especial corrigida: 2002 – Tiragem: 10.000 exemplares (miolo impresso em papel Reciclado – Cia. Suzano Bahia Sul)

Reimpressão: 2002 – Tiragem: 3.000 exemplares (miolo impresso em papel Reciclado – Cia. Suzano Bahia Sul)

Publicação CEMPRE - 3ª edição: 2010 – Tiragem: 2.000 exemplares (miolo impresso em papel Reciclado – Cia. Suzano Bahia Sul)

Publicação CEMPRE - 4ª edição: 2018 – Versão eletrônica

APRESENTAÇÃO

A obra “Lixo Municipal - Manual de Gerenciamento Integrado” foi concebida e organizada por iniciativa e responsabilidade própria do CEMPRE e do IPT, que contaram com a colaboração indispensável e indissociável de diversos autores, cujas contribuições se fundiram dando origem a uma criação autônoma e coletiva de extrema valia como instrumento de gestão ambiental.

Gerenciar o lixo de forma integrada significa atender 100% da população com um serviço regular de coleta de lixo que preveja também um sistema adequado de coleta seletiva. Significa dar aos recicláveis provenientes dessa seleção canais permanentes para destino e reaproveitamento. E que aquilo que não pode ser reciclado seja disposto de forma apropriada.

Desde sua primeira edição, em 1995, foram impressos 30.200 exemplares, demonstrando, com isso, a grande aceitação dessa obra tanto pelos setores envolvidos com o gerenciamento do lixo municipal, como pelo público em geral. O CEMPRE espera com esta nova versão do livro, agora eletrônica, continuar contribuindo com informações essenciais para o gerenciamento integrado do lixo municipal, que levem à adoção de práticas sustentáveis na gestão dos municípios, bem como à defesa do meio ambiente e da qualidade de vida. O CEMPRE agradece o esforço de todos que vêm participando da elaboração e atualização desta obra.

LIXO MUNICIPAL – MANUAL DE GERENCIAMENTO INTEGRADO

1ª edição – 1995

CAPÍTULO I – O Gerenciamento Integrado do Lixo Municipal

Fernando Luiz Prandini – IPT
Maria Luiza Otera D’Almeida – IPT
Niza Silva Jardim – IPT
Vinícius Gomes Taveira Mano – IPT
Christopher Wells - CEMPRE
Alberto Pereira de Castro – Consultor
Dan Moche Schneider – Consultor

CAPÍTULO II – Origem e Composição do Lixo

Ângelo José Consoni – IPT
Clarita Schwartz Peres – IPT
Alberto Pereira de Castro – Consultor

CAPÍTULO III – Serviços de Limpeza

Claudio Barbieri da Cunha – IPT
Ernesto Freire Pichler – IPT
Fernando Henrique de Almeida Sobral – IPT
Marcelo Eduardo Giacaglia – IPT
Risomá Chaves – IPT
Dan Moche Schneider – Consultor

CAPÍTULO IV – Disposição Final do Lixo

Ângelo José Consoni – IPT
Clovis Benvenuto – IPT
Giovanna Antonia Cavaliere Parzanese – IPT
Isabel Cristina da Silva – IPT
José Luiz Albuquerque Filho – IPT
Marcio Algeliere Cunha – IPT

CAPÍTULO V – Tratamento

Introdução

Parte 1 – Segregação de Materiais

Christopher Wells - CEMPRE
Maria Luiza Otera D’Almeida – IPT
Dan Moche Schneider – Consultor

Parte 2 – Reciclagem da Matéria Orgânica – Compostagem

Alexandre Ferraz Naumoff – IPT
Clarita Schwartz Peres – IPT
Paulo Borges Teixeira Junior – IPT
Paulo Breno de Moraes Silveira – IPT
Edmar José Kiehl – Consultor

Parte 3 – Reciclagem de Outros Componentes

3.1 Papel

José Mangolini Neves – IPT
Maria Luiza Otera D’Almeida – IPT

3.2 Plásticos

Armênio Gomes Pinto – IPT

3.3 Vidro

Colin Graham Rouse – IPT

3.4 Metais

Francisco Di Giorgi – IPT

3.5 Entulho

Luiz Hamassaki – IPT

3.6 Outros Materiais

Maria Luiza Otera D’Almeida – IPT
Oscar Terada – IPT
Renata Maggion Danilas – Colaboradora
(Indústria João Maggion)

Parte 4 – Incineração

Gerson Barbosa – Consultor

ANEXO A – Legislação

Helvio Nicolau Moisés – CEPAM
Elizabeth Teixeira Lima – CEPAM
Ana Rita Machado – CEPAM
Mariana Moreira – CEPAM

Sílvia R.C. Salgado – CEPAM
Berenice Terezinha Mastro – CEPAM
Roberto José Assumpção – CEPAM
Natália de Mello Araújo Ferreira – Consultora

ANEXO B – Normas

ANEXO C – Relação de Entidades/Associações

ÍNDICE REMISSIVO

LIXO MUNICIPAL – MANUAL DE GERENCIAMENTO INTEGRADO

2ª edição – 2000

CAPÍTULO I – O Gerenciamento Integrado do Lixo Municipal

Niza Silva Jardim
Christopher Wells
Ângelo José Consoni – IPT
Regina Maria Bueno de Azevedo – IPT

CAPÍTULO II – Origem e Composição do Lixo

Ângelo José Consoni – IPT
Clarita Schwartz Peres – IPT
Alberto Pereira de Castro – Consultor

CAPÍTULO III – Acondicionamento e Coleta do Lixo

Rogério Parra – IPT
Maria Lúcia Siqueira Dantas – IPT
Ernesto Freire Pichler – IPT
Claudio Barbieri da Cunha

CAPÍTULO IV – Processamento do Lixo

Parte 1 – Segregação de Materiais

André Vilhena – CEMPRE
Maria Luiza Otera D’Almeida – IPT

Parte 2 – Reciclagem da Matéria Orgânica (Compostagem)

Alexandre Ferraz Naumoff – IPT
Clarita Schwartz Peres – IPT

Parte 3 – Reciclagem de Papel

Maria Luiza Otera D’Almeida – IPT
José Mangolini Neves – IPT

Parte 4 – Reciclagem de Plástico

Armênio Gomes Pinto – IPT

Parte 5 – Reciclagem de Vidro

Evaristo Pereira Goulart – IPT

Parte 6 – Reciclagem de Metal

Flávio Beneduce Neto – IPT

Parte 7 – Reciclagem de Entulho

Luiz Tsuguio Hamassaki – IPT

Parte 8 – Reciclagem de Outros Materiais

Maria Luiza Otera D’Almeida – IPT
Lúcia Bastos Ribeiro de Sena – Colaboradora

Parte 9 – Tratamento Térmico

Ademar Hakuo Ushima – IPT
Marilyn Mariano dos Santos – IPT

Parte 10 – Resíduos de Serviços de Saúde

Mauro Silva Ruiz – IPT
Alberto José Moitta Pinto da Costa – IPT

CAPÍTULO V – Disposição Final do Lixo

Ângelo José Consoni – IPT
Isabel Cristina da Silva – IPT
Antônio Gimenez Filho – IPT
Maura Silva Ruiz – IPT
Alberto José Moitta Pinto da Costa – IPT

CAPÍTULO VI – Tratamento de Efluentes Líquidos de Aterros Sanitários

Wolney Alves – IPT
Alberto José Moitta Pinto da Costa – IPT
Jader Vieira Leite – IPT
Luis Carlos Urenha – IPT

CAPÍTULO VII – Legislação e Licenciamento Ambiental

Ângelo José Consoni – IPT
Cláudia Cristina Castro Gonzalez

ANEXO A – Normas Técnicas

ANEXO B – Relação de Entidades e Associações

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ÍNDICE DE ASSUNTOS

LIXO MUNICIPAL – MANUAL DE GERENCIAMENTO INTEGRADO

4ª edição – 2018

Esta 3ª edição foi revista pelo CEMPRE, que basicamente atualizou dados estatísticos não interferindo na estrutura dos textos. Não foram atualizadas normas técnicas e tampouco incorporados textos referentes a desenvolvimentos ocorridos desde a 2ª edição.

Com esta 4ª edição, o CEMPRE pretende diminuir a defasagem dos dados estatísticos desde a 2ª edição. Para continuar contribuindo com informações essenciais para o gerenciamento integrado do lixo municipal, está prevista uma 5ª edição, totalmente revista e ampliada.

O IPT não teve participação nesta 4ª edição e cedeu os direitos autorais da mesma para o CEMPRE. As modificações efetuadas nesta 4ª edição são de total responsabilidade do CEMPRE.

SUMÁRIO

CAPÍTULO I - GERENCIAMENTO INTEGRADO DO LIXO MUNICIPAL

1 INTRODUÇÃO	3
2 LIXO NO MUNDO E NO BRASIL	3
3 GERENCIAMENTO INTEGRADO DO LIXO MUNICIPAL: DESAFIOS	6
4 CONÇEPÇÃO DE UM MODELO DE GERENCIAMENTO DE LIXO MUNICIPAL	10
4.1 Diagnóstico da Situação	11
4.2 Plano Diretor de Gerenciamento Integrado do Lixo Municipal	22
4.3 Considerações Finais	25
<i>BIBLIOGRAFIA</i>	26

CAPÍTULO II - ORIGEM E COMPOSIÇÃO DO LIXO

1 INTRODUÇÃO	29
2 CLASSIFICAÇÃO DO LIXO	29
2.1 Domiciliar	29
2.2 Comercial	29
2.3 Público	29
2.4 Serviços de Saúde e Hospitalar	29
2.5 Portos, Aeroportos e Terminais Rodoviários e Ferroviários	30
2.6 Industrial	30
2.7 Agrícola	30
2.8 Entulho	30
3 OBJETO DE ANÁLISE DESTE MANUAL	30
4 CONHECIMENTO DO LIXO DO MUNICÍPIO	30
5 CARACTERIZAÇÃO DO LIXO	32
5.1 Levantamento Preliminar de Dados	32
5.2 Amostragem e Preparação da Amostra	33
5.2.1 Procedimentos para coleta de amostras para análise da composição química e parâmetros físico-químicos	33
5.2.2 Procedimentos para coleta de amostras para análise da composição física	35
6 COMPONENTES POTENCIALMENTE PERIGOSOS NO LIXO DOMICILIAR	36
<i>BIBLIOGRAFIA</i>	39

CAPÍTULO III - ACONDICIONAMENTO E COLETA DO LIXO

1 INTRODUÇÃO	43
2 RECIPIENTES DO LIXO	44
2.1 Responsabilidades	44
2.2 Recipientes Primários	44
2.2.1 Sacos plásticos	45
2.2.2 Recipientes primários rígidos	46
2.3 Coletores Urbanos, Comunitários e Institucionais	46
2.3.1 Coletores pequenos e médios	46
2.3.2 Coletores grandes: caçambas	47
2.3.3 Coletores para coleta seletiva	48
3 VEÍCULOS COLETORES	49
3.1 Carrocerias sem Compactador	49
3.2 Carrocerias com Compactador	49
3.3 Critérios para a Seleção dos Veículos	49
4 DIMENSIONAMENTO DA COLETA DOMICILIAR	50
4.1 Estimativa do Volume de Lixo a ser Coletado	51
4.1.1 Monitoração do total de lixo coletado	52
4.1.2 Monitoração parcial do lixo coletado	52
4.2 Definição das Frequências da Coleta Domiciliar	52
4.3 Definições dos Horários da Coleta Domiciliar	53
4.3.1 Coleta noturna - Aspectos favoráveis	53
4.3.2 Coleta noturna - Aspectos desfavoráveis	54
4.4 Dimensionamento da Frota dos Serviços de Coleta	54
4.4.1 Levantamento e coleta de dados	55
4.4.2 Localização de pontos importantes para a coleta	56
4.4.3 Determinação do volume e peso específico do lixo a ser coletado	56
4.4.4 Definição 90S setores de coleta	56
4.4.5 Estimativa da quantidade total de lixo por setor	56
4.4.6 Estimativa dos parâmetros operacionais por setor	56
4.4.7 Dimensionamento do número de roteiros de veículos necessários para cada setor	57
4.4.8 Cálculo da frota total necessária	57
4.5 Definição dos Itinerários de Coleta	58

4.5.1 Softwares para a definição de roteiros de coleta domiciliar	59
4.5.2 Estações de transferência ou transbordo	60
4.6 Resíduos dos Serviços de Saúde - Coleta	61
4.6.1 Fase interna	61
4.6.2 Fase externa	62
5 CUSTOS DE COLETA E TRANSPORTE	62
5.1 Classificação de Custos	63
5.1.1 Custos fixos e variáveis	63
5.1.1.1 Custos fixos	63
5.1.1.2 Custos variáveis	65
5.1.2 Custos unitários	66
5.1.2.1 Comparação com outras cidades	66
6 AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO	67
6.1 Medidas de Produtividade	67
6.2 Indicadores de Eficiência Operacional	67
6.2.1 Utilização de veículos	67
6.2.2 Mão-de-obra	68
6.2.3 Manutenção	68
6.3 Indicadores de Qualidade	68
6.4 Nível de Segurança	68
7 ASPECTOS INSTITUCIONAIS	68
8 OUTROS SERVIÇOS	69
8.1 Varrição	69
8.1.1 Varrição manual	70
8.1.2 Varrição mecânica	71
8.2 Capinação e Roçagem	71
8.3 Limpeza de Praias	71
8.4 Limpeza de locais ou Ruas onde há Feiras livres	72
8.5 limpeza de Bocas-de-lobo, Galerias e Córregos	72
8.6 Remoção de Animais Mortos	72
8.7 Pinturá de Guias	72
8.8 Coleta de Resíduos Volumosos e Entulho	72
BIBLIOGRAFIA	73

CAPÍTULO IV - PROCESSAMENTO DO LIXO

Parte 1 - Segregação de Materiais	75
1 INTRODUÇÃO	77
2 COLETA SELETIVA	77
2.1 Enfoque Econômico-Financeiro da Coleta Seletiva	79
2.2 Medição do Benefício da Coleta Seletiva	79
2.3 Redução dos Custos da Coleta Seletiva	80
2.4 Monitoração da Coleta	80
2.5 Comercialização dos Recicláveis	80
2.6 Catadores	80
2.6.1 Catadores no lixão	81
2.6.2 Cooperativas de catadores	81
2.7 A Coleta Seletiva no Brasil	82
3 USINAS DE TRIAGEM	82
3.1 Medição do Benefício de uma Usina de Triagem	83
4 MUNICÍPIOS NO INCENTIVO À RECICLAGEM	84
4.1 Prefeitura como Agente Incentivador	84
4.2 Prefeitura como Agente Implementador	84
4.3 Prefeitura como Agente Consumidor	85
<i>BIBLIOGRAFIA</i>	86
Parte 2 - Reciclagem de Matéria Orgânica (Compostagem)	87
1 INTRODUÇÃO	89
2 PROCESSO DE COMPOSTAGEM	89
2.1 Fatores a Serem Observados Durante a Compostagem	91
3 USINA DE TRIAGEM E COMPOSTAGEM	92
3.1 Recepção e Expedição	93
3.2 Triagem	97
3.3 Pátio de Compostagem	100
3.4 Beneficiamento e Armazenagem	102
3.5 Aterros de Rejeitos	103
3.6 Sistema de Tratamento de Efluentes	103
3.7 Outros Equipamentos	103
3.8 Outras Instalações	104
4 TIPOS DE LIXO QUE PODEM IR PARA A USINA DE COMPOSTAGEM	104

5 PROJETO DE UMA USINA DE TRIAGEM E COMPOSTAGEM	104
5.1 Escolha da Área	106
5.2 Licença de Instalação	107
5.3 Urbanização	107
6 IMPLANTAÇÃO DE UMA USINA DE TRIAGEM E COMPOSTAGEM	107
6.1 Investimento Necessário	107
6.2 Despesas Operacionais	107
6.3 Espaço Físico	108
6.4 Outros Requisitos Administrativos	108
7 OPERAÇÃO DE UMA USINA DE TRIAGEM E COMPOSTAGEM	108
7.1 Recursos Humanos	108
7.2 Monitoração	109
7.3 Gerenciamento da Usina	110
8 ALTERNATIVAS DE USINA EM FUNÇÃO DA QUANTIDADE DE LIXO	110
8.1 Usinas para Processamento de Até 25 t/dia	111
8.2 Usinas para Processamento de Cerca de 50 t/dia	111
8.3 Usinas para Processamento de Mais de 100 t/dia	112
8.4 Usinas para Processamento Acelerado	113
9 COMPOSTO ORGÂNICO	113
9.1 Legislação	113
9.2 Aplicação	114
9.3 Valor e Preço do Composto	114
10 BENEFÍCIOS DE UMA USINA DE TRIAGEM E COMPOSTAGEM	116
11 SITUAÇÃO BRASILEIRA	116
12 OUTRAS ALTERNATIVAS	117
12.1 Compostagem Conjunta de Lixo e Lodo de Esgoto	117
12.2 Compostagem ou Digestão Anaeróbia	117
<i>BIBLIOGRAFIA</i>	118
Parte 3 - Reciclagem de Papel	119
1 INTRODUÇÃO	121
2 COMPOSIÇÃO DO PAPEL	121
3 TIPOS DE PAPEL	123
4 RECICLAGEM DE PAPEL	125
4.1 Origem das Aparas	125

4.2 Classificação das Aparas	125
4.3 Papéis Não-Recicláveis	128
4.4 Papéis Manufaturados com Aparas	128
4.5 Processo de Reciclagem	128
5 FATORES FAVORÁVEIS À RECICLAGEM DO PAPEL	131
6 FATORES DESFAVORÁVEIS À RECICLAGEM DO PAPEL	131
7 RECICLAGEM DE PAPEL NO BRASIL	132
8 RECICLAGEM DE PAPEL NO MUNICÍPIO	133
<i>BIBLIOGRAFIA</i>	134
Parte 4 - Reciclagem de Plástico	135
1 INTRODUÇÃO	137
2 TIPOS DE PLÁSTICO	137
3 PLÁSTICOS DE MAIOR CONSUMO.....	138
4 PROCESSOS UTILIZADOS PARA A FABRICAÇÃO DE PLÁSTICOS	138
5 GERAÇÃO DE RESÍDUOS NAS INDÚSTRIAS DE PLÁSTICO	138
6 LOCAL DE GERAÇÃO DO LIXO PLÁSTICO	140
7 RECICLAGEM DE PLÁSTICO	140
8 IDENTIFICAÇÃO DOS TIPOS DE PLÁSTICO	140
9 REAPROVEITAMENTO DE MAT-RIAS PLÁSTICOS	142
9.1 Com a Separação dos Plásticos por Tipo de Resina	142
9.2 Sem a Separação das Resinas	143
10 BENEFÍCIOS DA RECICLAGEM DE PLÁSTICO	144
11 DIFICULDADES PARA A IMPLANTAÇÃO DA RECICLAGEM DE PLÁSTICO	145
12 COMERCIALIZAÇÃO DO PLÁSTICO RECICLADO.....	145
13 SITUAÇÃO BRASILEIRA E PROJEÇÕES FUTURAS	146
<i>BIBLIOGRAFIA</i>	146
Parte 5 - Reciclagem de Vidro	149
1 INTRODUÇÃO	151
2 ESTRUTURA DO VIDRO	151
3 PROPRIEDADES DO VIDRO NO ESTADO SÓLIDO	151
4 MATÉRIAS-PRIMAS DO VIDRO	151
5 COMPOSIÇÃO DO VIDRO	152
6 PRINCIPAIS PRODUTOS DE VIDRO CONSUMIDOS E FABRICADOS NO BRASIL	153

7 PROCESSOS DE PRODUÇÃO DE VIDRO	153
8 REUTILIZAÇÃO DE VIDRO	156
9 RECICLAGEM DE VIDRO	156
9.1 Caco de Vidro	156
9.1.1 Etapas de preparação dos cacos de vidro	157
9.1.2 Outras aplicações para o caco de vidro	157
9.2 Tipos de Vidro Encontrados no Lixo Domiciliar	157
10 POSIÇÃO DA PREFEITURA E A RECICLAGEM DE VIDRO	158
11 RECICLAGEM: UMA ECONOMIA DE RECURSOS	159
<i>BIBLIOGRAFIA</i>	158
Parte 6 - Reciclagem de Metal	161
1 INTRODUÇÃO	163
2 PROCESSOS DE FABRICAÇÃO DE METAIS	163
3 METAIS NO LIXO DOMICILIAR	164
4 RECICLAGEM DE METAIS	164
5 RECICLAGEM DE LATAS	165
<i>BIBLIOGRAFIA</i>	167
Parte 7 - Reciclagem de Entulho	169
1 INTRODUÇÃO	171
2 PROBLEMAS COM O ENTULHO	171
3 SITUAÇÃO BRASILEIRA E MUNDIAL	171
3.1 Geração	171
3.1.1 Gerador de entulho no Brasil	172
3.2 Tratamento	172
3.2.1 Reciclagem particular	175
3.2.2 Situação do tratamento do entulho em outros países	175
3.2.3 Diferenças do entulho reciclado no Brasil e no exterior	177
4 CONDIÇÕES BÁSICAS PARA A RECICLAGEM	177
5 RECICLAGEM	178
5.1 Processo	178
5.2 Materiais Recicláveis no Entulho: Composição	178
6 INSTALAÇÃO DA RECICLAGEM MUNICIPAL	180
6.1 Equipamentos	180

7 PRODUTOS DA RECICLAGEM	180
7.1 Restrição	180
7.2 Produtos	180
7.3 Controle de Qualidade	181
<i>BIBLIOGRAFIA</i>	181
Parte 8 - Reciclagem de Outros Materiais	183
1 INTRODUÇÃO	185
2 PNEUS	185
3 PILHAS E BATERIAS	188
4 LÂMPADAS DE DESCARGA DE GASES	190
4.1 Manejo e Disposição de Lâmpadas Fluorescentes Usadas	190
5 RESÍDUOS TÓXICOS CONTIDOS EM EMBALAGENS	191
<i>BIBLIOGRAFIA</i>	191
Parte 9 - Tratamento Térmico	193
1 INTRODUÇÃO	195
2 TRATAMENTO TÉRMICO A ALTA TEMPERATURA	195
2.1 Incineração de Resíduos	196
2.1.1 Histórico	197
2.1.2 Planejamento de uma unidade de incineração	198
2.1.3 Caracterização dos resíduos visando a incineração	198
2.1.3.1 Resíduos Sólidos Municipais (RSM)	198
2.1.3.2 Resíduos Sólidos de Serviços de Saúde (RSS)	199
2.1.4 Tipos de incineradores	200
2.1.4.1 Incineradores de combustão em grelha	200
2.1.4.2 Incineradores de câmaras múltiplas	203
2.1.4.3 Incineradores de leito fluidizado	205
2.1.5 Origem e formação dos poluentes encontrados nos gases de combustão em um incinerador e seus efeitos à saúde	205
2.1.5.1 Poluição	205
2.1.5.2 Processo de incineração e geração de poluentes	206
2.1.5.3 Formação dos poluentes em um sistema de incineração	206
2.1.5.4 Efeitos dos poluentes nos seres humanos	209
2.1.6 Estratégias de controle de poluição em processos de incineração	211

2.1.6.1	Sistemas de limpeza de gases	212
2.1.6.2	Monitoração e controle de processos de incineração	216
2.1.7	Incineração e a legislação	218
3	TRATAMENTO TÉRMICO A BAIXA TEMPERATURA	220
3.1	Uso de Microondas e de Ondas de Rádio de Baixa Frequência	220
3.2	Esterilização a Vapor em Autoclaves	220
3.3	Outras Formas de Esterilização de RSS	220
4	ORIENTAÇÕES GERAIS SOBRE OS PROCESSOS DE TRATAMENTO TÉRMICO DE RESÍDUOS	220
4.1	Tratamento Térmico de RSM	220
4.2	Tratamento Térmico de RSS	221
	<i>BIBLIOGRAFIA</i>	222
 Parte 10 - Resíduos de Serviços de Saúde		225
1	INTRODUÇÃO	227
2	CLASSIFICAÇÃO	228
3	ASPECTOS RELEVANTES	228
4	GERENCIAMENTO	229
5	ASPECTOS TÉCNICO-OPERACIONAIS DE MANEJO, TRATAMENTO E DISPOSIÇÃO	230
5.1	Coleta e Segregação na Origem	230
5.2	Acondicionamento	231
5.3	Armazenamento Interno	231
5.4	Transporte	232
5.5	Tratamento	232
5.5.1	Tecnologias disponíveis	232
5.5.2	Iniciativas promissoras	233
5.6	Disposição dos Resíduos Sólidos	234
5.6.1	Céu aberto ou lixões	234
5.6.2	Vazadouros	235
5.6.3	Alimentação de animais	235
5.6.4	Aterro sanitário	235
5.6.5	Valas sépticas	236
5.6.6	Soluções conjuntas	237
5.7	Disposição dos Efluentes Líquidos	237
6	RECICLAGEM	239
	<i>BIBLIOGRAFIA</i>	239

CAPÍTULO V - DISPOSIÇÃO FINAL DO LIXO	241
1 INTRODUÇÃO	243
1.1 Lixão	243
1.2 Aterro Controlado	243
1.3 Aterro Sanitário	244
2 AVALIAÇÃO DA DISPOSIÇÃO ATUAL DO LIXO	244
2.1 Identificação dos Problemas	245
2.2 Decisão do Futuro da Disposição de Lixo no Município	245
2.3 Alocação de Recursos	246
3 REMEDIAÇÃO E FECHAMENTO DE LIXÕES	248
4 ADEQUAÇÃO DE ATERROS DE RESÍDUOS SÓLIDOSMUNICIPAIS	248
4.1 Diretrizes Técnicas	248
4.2 Seqüência de Atividades para Adequação do Aterro de Resíduos	249
4.2.1 Problemas sanitários	249
4.2.2 Problemas ambientais	251
4.2.3 Problemas operacionais	252
4.3 Elaboração de Projeto de Adequação	253
4.4 Procedimentos para Manutenção da Condição de Operação como Aterro Sanitário	254
5 AVALIAÇÃO DE ÁREAS PARA INSTALAÇÃO DE ATERROS SANITÁRIOS	257
5.1 Levantamento de Dados Gerais	258
5.2 Pré-Seleção de Áreas	258
5.3 Viabilização das Áreas Pré-Selecionadas	264
6 PROJETO DE ATERRO SANITÁRIO EM ÁREAS NOVAS	268
6.1 Concepção Técnica	268
6.1.1 Tratamento por digestão anaeróbia	269
6.1.2 Tratamento por digestão aeróbia	269
6.1.3 Tratamento biológico	269
6.1.4 Tratamento por digestão semi-aeróbia	270
6.2 Dimensionamento do Aterro Sanitário	270
6.3 Componentes do Projeto	271
6.3.1 Sistema de tratamento dos resíduos a serem dispostos	271
6.3.2 Sistema de operação do aterro sanitário	272
6.3.3 Sistema de drenagem de fundação	274
6.3.4 Sistema de impermeabilização de base do aterro	274
6.3.5 Sislema de cobertura dos resíduos	274

6.3.6 Sistema de drenagem de águas pluviais	275
6.3.7 Sistema de drenagem de líquidos percolados	276
6.3.8 Sistema de drenagem de biogás	277
6.3.9 Análise da estabilidade dos maciços de terra e de resíduos sólidos	278
6.3.10 Sistema de tratamento dos líquidos percolados	278
6.3.11 Sistema de tratamento dos gases	279
6.3.12 Sistema de monitorização	279
6.3.13 Fechamento do aterro	280
6.4 Projeto Básico	281
6.4.1 Desenhos e plantas	281
6.5 Orientação para Licitação	281
<i>BIBLIOGRAFIA</i>	282
CAPÍTULO VI - TRATAMENTO DE EFLUENTES LÍQUIDOS DE ATERROS SANITÁRIOS	283
1 INTRODUÇÃO	285
2 DEFINIÇÃO E FORMAÇÃO DO CHORUME	285
3 COMPOSIÇÃO DO CHORUME	288
4 ESTIMATIVA DA QUANTIDADE DE CHORUME PRODUZIDO UTILIZANDO MÉTODOS EMPÍRICOS	290
5 ESTIMATIVA DA QUANTIDADE DE CHORUME PRODUZIDO UTILIZANDO O BALANÇO HÍDRICO	291
6 TRATAMENTO DO CHORUME	292
6.1 Fatores Intervenientes no Dimensionamento do Tratamento de Chorume	293
6.2 Alternativas Tecnológicas para Tratamento do Chorume	293
6.3 Tratamento Biológico	294
6.3.1 Lodos ativados	294
6.3.2 Lagoas aeradas	295
6.3.3 Lagoas de estabilização	296
6.3.4 Reator ou digestor anaeróbio de fluxo ascendente (RAFA)	298
6.4 Recirculação do Chorume	300
6.5 Tratamento Físico-Químico	301
<i>BIBLIOGRAFIA</i>	302
CAPÍTULO VII - LEGISLAÇÃO E LICENCIAMENTO AMBIENTAL	305
1 LEGISLAÇÃO AMBIENTAL	307
1.1 Introdução	307
1.2 Instrumentos de Planejamento Municipal e a Limpeza Urbana	308

1.2.1 Instrumentos legais de planejamento	308
1.3 Referências Legais para o Serviço de Limpeza Urbana	310
1.4 Legislação Federal	311
2 LICENCIAMENTO AMBIENTAL	312
2.1 Licenciamento Ambiental de Empreendimentos para Gerenciamento de Resíduos Sólidos Municipais	312
2.2 Principais Impactos Ambientais Negativos a Serem Abordados em Estudos Ambientais para Empreendimentos de Gerenciamento do Lixo Municipal	315
<i>BIBLIOGRAFIA</i>	316
ANEXO A - NORMAS TÉCNICAS	317
ANEXO B - RELAÇÃO DE ENTIDADES E ASSOCIAÇÕES	321
LISTA DE ILUSTRAÇÕES	331
LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS	339
ÍNDICE DE ASSUNTOS	345

CAPÍTULO I

GERENCIAMENTO INTEGRADO DO LIXO MUNICIPAL

LIXO MUNICIPAL
MANUAL DE GERENCIAMENTO INTEGRADO

1 INTRODUÇÃO

O gerenciamento integrado do lixo municipal é um conjunto articulado de ações normativas, operacionais, financeiras e de planejamento que uma administração municipal desenvolve (com base em critérios sanitários, ambientais e econômicos), para coletar, segregar, tratar e dispor o lixo de sua cidade.

Gerenciar o lixo de forma integrada significa:

- limpar o município por meio de um sistema de coleta e transporte adequado e tratar o lixo utilizando tecnologias compatíveis com a realidade local;
- ter consciência de que todas as ações e operações envolvidas no gerenciamento estão interligadas, influenciando uma às outras. Assim, uma coleta mal planejada encarece o transporte; um transporte mal dimensionado gera prejuízos e reclamações e prejudica o tratamento e a disposição final do lixo; tratamentos mal dimensionados não atingem os objetivos propostos, e disposições inadequadas causam sérios impactos ambientais;
- garantir destino ambientalmente correto e seguro para o lixo;
- conceber modelo de gerenciamento apropriado para o município, levando em conta que a quantidade e a qualidade do lixo gerada em uma dada localidade decorre do tamanho da população e de suas características socioeconômicas e culturais, do grau de urbanização e dos hábitos de consumo vigentes.

O conjunto de ações para o gerenciamento do lixo deve ir ao encontro das metas estabelecidas para se atingir os objetivos maiores traçados pelo município. A experiência tem demonstrado que o caminho para mudanças nos sistemas de gerenciamento do lixo municipal se faz por meio da evolução e não da revolução. Pequenas melhorias, consistentemente mantidas por vários anos seguidos, são mais prováveis de conduzir ao sucesso que tentativas de obtê-lo em um único grande salto tecnológico.

Não se trata, portanto, de definir se a recuperação de recicláveis, compostagem, incineração ou aterro sanitário é a melhor técnica de gerenciamen-

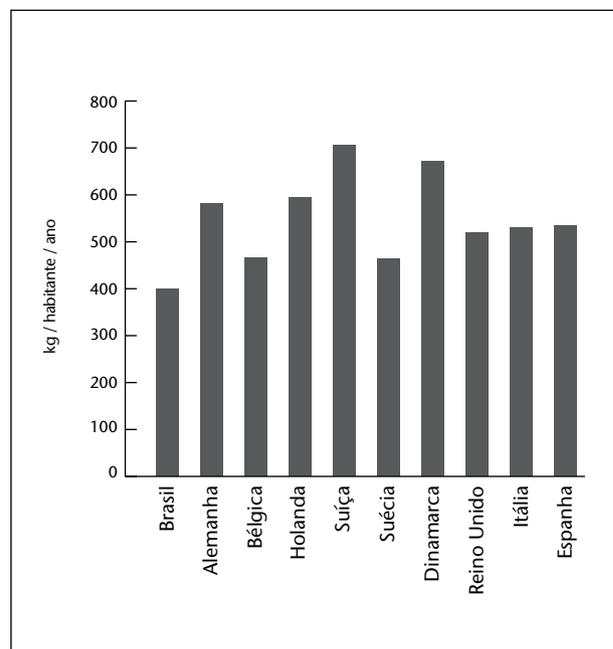
to a utilizar. Ao contrário, é necessário determinar em que proporção é mais apropriado conjugar estas técnicas e como é melhor articulá-las¹.

As autoridades municipais são peças-fundamentais no gerenciamento integrado do lixo municipal. Elas não somente têm a responsabilidade pela implementação/articulação de ações em relação ao lixo, mas também estabelecem os parâmetros para seu desenvolvimento. Seu desafio maior, no entanto, será o de conscientizar cidadãos, técnicos e planejadores para essa necessidade inadiável.

2 O LIXO NO MUNDO E NO BRASIL

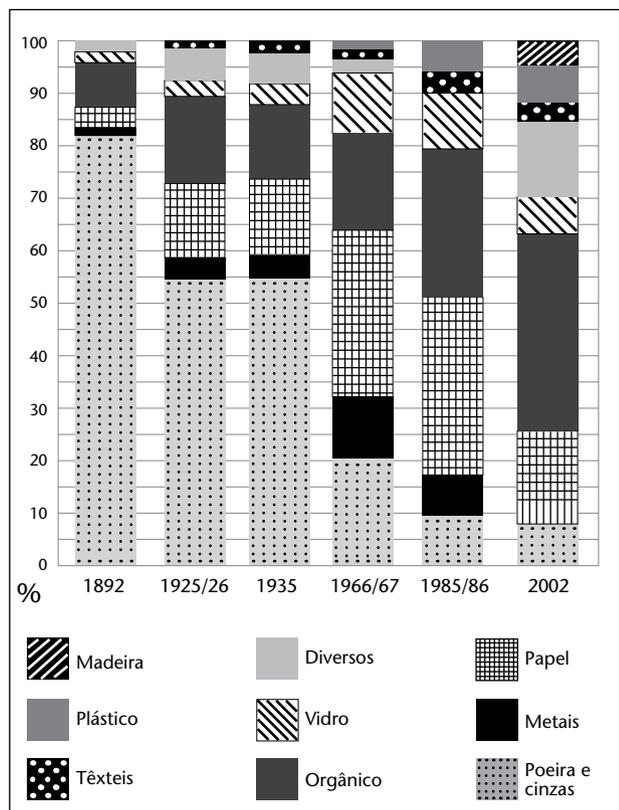
Estima-se que a população mundial, hoje de mais de 7,4 bilhões de habitantes, esteja gerando entre 2 e 3 bilhões de toneladas de lixo por ano. Como é este lixo e o que acontece com ele?

As Figuras 1 a 4 mostram como é a situação global e em diferentes países com relação à quantidade de lixo gerada por habitante e sua composição média; à quantidade depositada em aterros, incinerada e reciclada; e ao total transformado em composto orgânico.



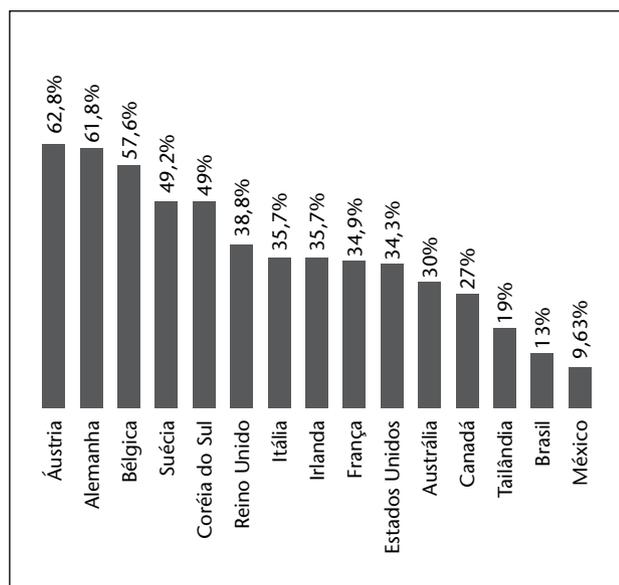
Fonte: Abrelpe, 2015 e European Environment Agency (EEA), 2013

Figura 1 - Geração de resíduos urbanos



Fonte: livro "Reciclagem Ontem, Hoje, Sempre" (Cempre, 2008)³

Figura 2 - As mudanças na composição do lixo mundial



Fontes: European Environment Agency (EEA) 2013, US Environmental Protection Agency (EPA) 2013, Planet Aid 2015, Sustenta, Tipmse, Cempre 2013

Figura 3 - Ranking global da reciclagem

País	Aterros e/ou lixões	Incineração com recuperação de energia	Compostagem + reciclagem
Brasil*	348	—	52
Bélgica	4	196	148
República Tcheca	174	57	70
Alemanha	9	143	288
Espanha	240	54	68
França	131	173	112
Itália	154	94	127
Portugal	222	94	74
Suécia	3	217	146
Reino Unido	134	126	132
Hungria	221	38	94
Holanda	8	245	125
Áustria	23	206	144
Polônia	143	41	57

Fonte: Eurostat, 2014

Figura 4 - Destino dos resíduos urbanos (kg per capita/ano)

A composição e a quantidade de lixo urbano gerada por habitante variam conforme o nível de desenvolvimento dos países. Verifica-se que o brasileiro produz bem menos lixo do que europeus, como holandeses, dinamarqueses e alemães, por exemplo.²

Nos países mais desenvolvidos, é maior a taxa de reciclagem. Enquanto a Áustria, por exemplo, recupera 63% do lixo gerado e os Estados Unidos recicla 34%, o índice no Brasil é de 13% e, no México, menos de 10%.⁴

Os aterros ou lixões são os principais destinos dos resíduos urbanos na maioria dos países. Nas nações desenvolvidas, embora os aterros sanitários sejam uma importante solução, parte considerável do lixo é incinerada com recuperação de energia ou encaminhada para compostagem e reciclagem. Na Alemanha, por exemplo, apenas 9 Kg em média por habitante vão anualmente para os aterros. Na Itália, essa quantidade é de 154 Kg. No Brasil, os aterros e lixões recebem 348 Kg de lixo gerado por habitante ao ano.²

O Brasil, em função das suas disparidades regionais, tem um pouco de cada uma das situações ilustradas no Quadro 1.

Quadro 1 – Situação do lixo

<p style="text-align: center;">Densidade demográfica: Alta Nível de renda: Alto</p> <p>Exemplos: Japão, Alemanha, Bélgica, costa leste dos EUA</p> <p>Característica do lixo: Alta geração <i>per capita</i>. Alto teor de embalagens.</p> <p>Gestão do Lixo: Coleta total do lixo, com foco em programa de gestão seletiva. Incineração usada para gerar energia. Aterro sanitário, com controles ambientais, como forma de destinação final.</p>	<p style="text-align: center;">Densidade demográfica: Baixa Nível de renda: Alto</p> <p>Exemplos: Canadá, países nórdicos, interior dos EUA</p> <p>Característica do lixo: Alta geração <i>per capita</i>. Alto teor de embalagens e com grande parcela de resíduos de jardinagem.</p> <p>Gestão do lixo: Coleta total do lixo. Aterro sanitário como principal forma de destinação. Algumas iniciativas de reciclagem, dependendo da região. Compostagem de resíduos orgânicos.</p>
<p style="text-align: center;">Densidade demográfica: Alta Nível de renda: Baixo</p> <p>Exemplos: Cidades na Índia, China, Egito</p> <p>Característica do lixo: Média geração <i>per capita</i>, teor médio de embalagens e alto teor de restos de alimentos.</p> <p>Gestão do lixo: Coleta inadequada do lixo. Crescente preocupação em fechar lixões e criar aterros sanitários com controles ambientais. Indústrias de reciclagem abastecidas por catadores trabalhando nas ruas e nos lixões.</p>	<p style="text-align: center;">Densidade demográfica: Baixa Nível de renda: Baixo</p> <p>Exemplos: Áreas rurais da África e de algumas regiões da América Latina</p> <p>Característica do lixo: Baixa geração <i>per capita</i>. Alto teor de restos de alimentos.</p> <p>Gestão do lixo: Coleta inadequada do lixo. Lixão como principal forma de destinação.</p>

Em 2015, a coleta de lixo no Brasil, considerando-se apenas os domicílios urbanos, era de, aproximadamente, 90,8%⁵. Este percentual, ainda não satisfatório, representa um avanço em relação aos

valores de 1990 (64%), de 1981 (49%) e de 2007 (83,3%). Estes dados globais, todavia, escondem grandes diferenças regionais, conforme mostram a Tabela 1 e a Figura 7.

Tabela 1 – Índice percentual (%) de coleta de domicílios com coleta de lixo no Brasil

Macro-Região	2000	2004	2007	2013	2015
Norte	85,33	66,71	73,56	80,23	80,6
Nordeste	63,87	66,73	69,51	78,22	78,5
Centro-Oeste	82,86	83,94	85,96	93,05	93,7
Sudeste	90,09	91,43	92,04	97,09	97,4
Sul	80,84	82,24	83,51	94,07	94,3
Brasil	80,87	81,48	83,30	90,4	90,8

Fonte: Abrelpe 2007, 2013 e 2015

Tabela 2 - Distritos-sede com serviço de coleta de lixo residencial, por frequência de atendimento, segundo as Grandes Regiões

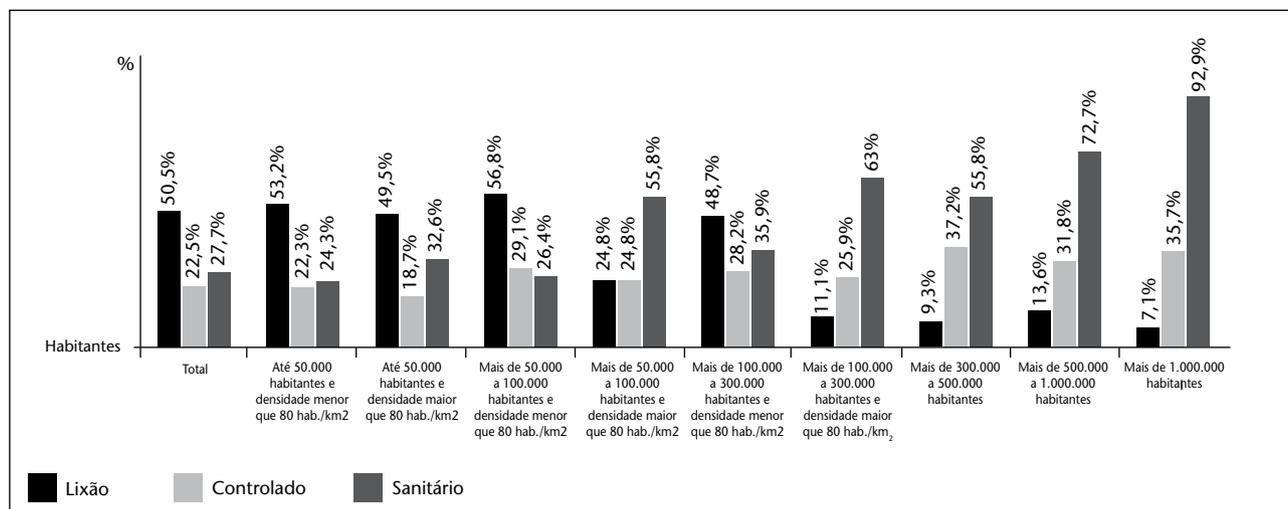
Grandes Regiões	Distritos-sede com serviço de coleta de lixo residencial					
	Total	Frequência de atendimento				
		Diária	1 vez por semana	2 vezes por semana	3 vezes por semana	Irregular
Brasil	5291	3195	478	498	962	267
Norte	432	248	42	42	68	33
Nordeste	1730	1189	72	151	297	33
Sudeste	1623	1082	149	112	245	39
Sul	1056	408	174	150	283	129
Centro-Oeste	450	268	41	43	69	33

Fonte: IBGE, 2010 (Pesquisa Nacional de Saneamento Básico 2008)⁶

Nota 1: Um mesmo município pode apresentar diferentes frequências de atendimento

Nota 2: Valores para coleta regular nos centros dos municípios

Com relação ao destino do lixo, a Figura 5 mostra os dados oficiais mais recentes, de 2008.



Fonte: IBGE, 2010 (Pesquisa Nacional de Saneamento Básico 2008)⁷

Nota: Um município pode apresentar mais de um tipo de unidade de destino dos resíduos sólidos domiciliares e/ou públicos

Figura 5 - Percentual do número de municípios, por tipo de destino final, segundo seus estratos populacionais

3 GERENCIAMENTO INTEGRADO DO LIXO MUNICIPAL: DESAFIOS

O crescimento da população mundial (Figura 6) vem acompanhado de uma crescente urbanização.

Hoje, 54% dessa população vive em cidades, contra 33% em 1960, e a estimativa é de 66% para 2050. Outro fator marcante é o aumento do número de megacidades com 10 milhões de habitantes ou mais.

Atualmente, existem 28 (16 na Ásia), contra 2 em 1960 e previsão de 41 em 2030 (Fonte: UNRIC 2014 – Centro Regional de Informação das Nações Unidas).

O Brasil chegou ao início do século XXI com população de 175 milhões de habitantes e taxa de crescimento demográfico em torno de 1,4% ao ano. Apesar de a taxa de crescimento estar caindo sistematicamente, estima-se que a população brasileira deverá atingir 212 milhões em 2020.²⁰

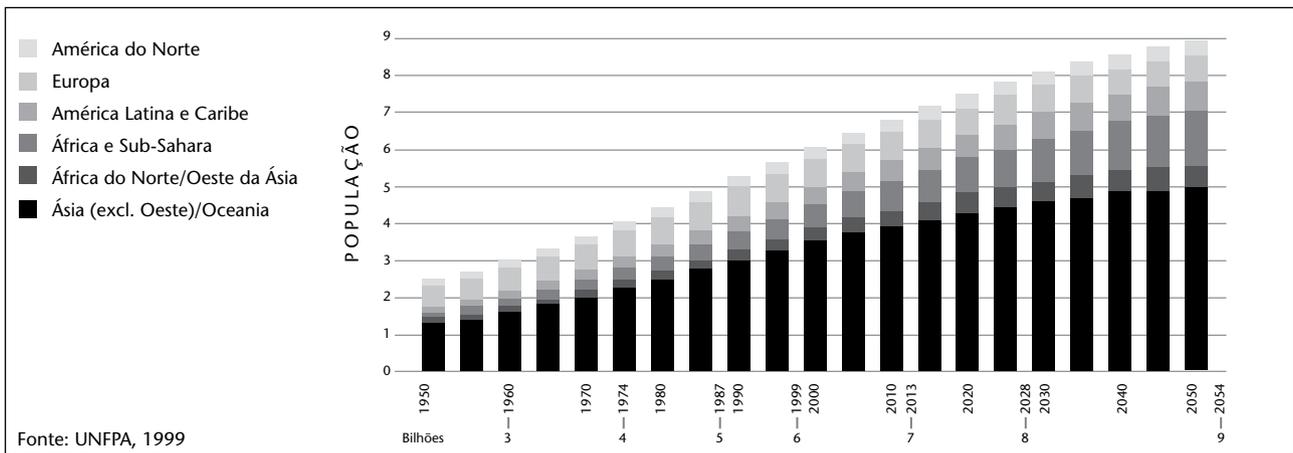


Figura 6 - Distribuição regional da população mundial

Desde a década de 50, essa população vem se concentrando nas áreas urbanas, devido aos mais variados fatores, tais Como migração interna, mecanização da agricultura, processo de industrialização, busca de melhores oportunidades de empregos e qualidade de vida, etc. Em 2000, a população urbana do País ultrapassou 81%⁸ da população total, conforme mostra a Figura 7. O número de regiões metropolitanas aumentou de 9, em 1995, para 26 em 2015, de acordo com o critério de classificação do IBGE. Este acréscimo ocorreu principalmente na Região Sul, conforme mostra a Figura 8 e a Tabela 3.

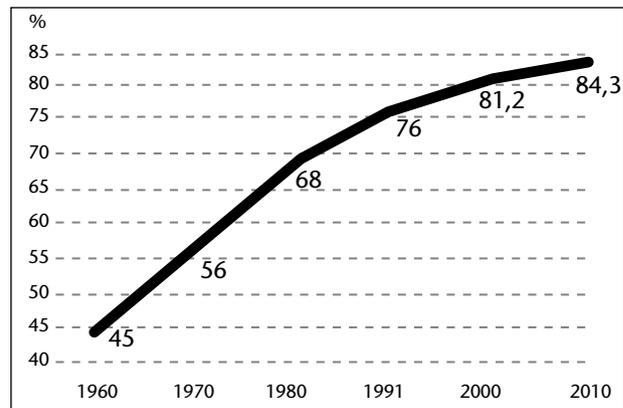


Figura 7 - Crescimento da população urbana no Brasil 1960-2010 (em proporções)

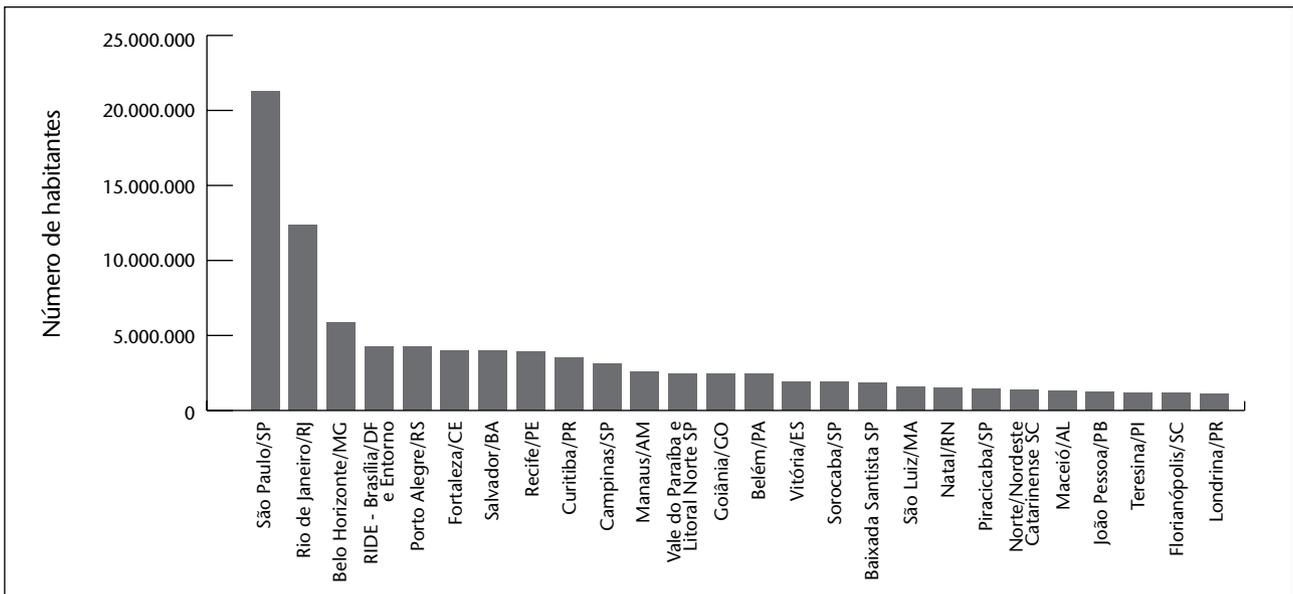


Figura 8 - Regiões metropolitanas e população

Tabela 3 - Principais regiões metropolitanas e respectivos números de municípios

Regiões metropolitanas	Municípios
São Paulo (SP)	39
Rio de Janeiro (RJ)	21
Belo Horizonte (MG)	34
RIDE - Brasília (DF) e Entorno	23
Porto Alegre (RS)	34
Fortaleza (CE)	19
Salvador (BA)	13
Recife (PE)	14
Curitiba (PR)	29
Campinas (SP)	20
Manaus (AM)	13
Vale do Paraíba e Litoral Norte (SP)	39
Goiânia (GO)	20
Belém (PA)	7
Vitória (ES)	7

Fonte: IBGE, 2010⁹

O acelerado processo de urbanização, aliado ao consumo crescente de produtos menos duráveis, e/ou descartáveis, provocou sensível aumento do volume e diversificação do lixo gerado e sua concentração espacial. Desse modo, o encargo de gerenciar o lixo tornou-se uma tarefa que demanda ações diferenciadas e articuladas, as quais devem ser incluídas entre as prioridades de todas as municipalidades.

Em relação ao lixo, as comunidades enfrentam atualmente grandes desafios, dentre os quais destacam-se:

Encontrar soluções ambientalmente seguras para os problemas decorrentes da geração do lixo em grandes quantidades

As cidades acumulam riquezas, sendo os principais centros de educação, assim como de geração de novos empregos, idéias, cultura e oportunidades econômicas. Entretanto, são também imensas consumidoras de recursos naturais. As grandes aglome-

rações urbanas consomem grandes quantidades de água, de energia, de alimentos e de matérias-primas e geram significativas quantidades de lixo que precisam ser dispostas de maneira segura e sustentável.

As grandes cidades, densamente ocupadas e conurbadas, que no Brasil hoje já compõem 26 Regiões Metropolitanas, apresentam problemas semelhantes que desconhecem os limites municipais, tais como:

- escassez ou inexistência de áreas para a disposição final do lixo;
- conflitos de usos do solo, com a população estabelecida no entorno das instalações de tratamento, aterros e lixões;
- exportação de lixo a municípios vizinhos, gerando resistências;
- lixões e aterros operados de forma inadequada, poluindo recursos hídricos.

Encontrar soluções para o lixo gerado em pequenas e médias comunidades com poucos recursos

De acordo com dados da UNESCO, existem no mundo 2,4 bilhões de pessoas com serviços de saneamento básico precário ou inexistente, totalizando cerca de 1/3 da população global. Além disso, 1,7 bilhão não têm habitação adequada (ONU, 2005) e 400 milhões não têm acesso a serviços de saúde (OMS, 2015).¹⁰

No Brasil, para os 5.570 municípios existentes, tem-se a seguinte distribuição:

- 3.824 municípios têm menos de 20.000 habitantes;
- 1.442 municípios têm de 20.000 a 100.000 habitantes;
- 263 municípios têm de 100.000 a 500.000 habitantes;
- 41 municípios têm mais de 500.000 habitantes.⁹

Os dois desafios mencionados impõem-se principalmente para os municípios com menos de 20.000 habitantes e para os com mais de 500.000 habitantes.

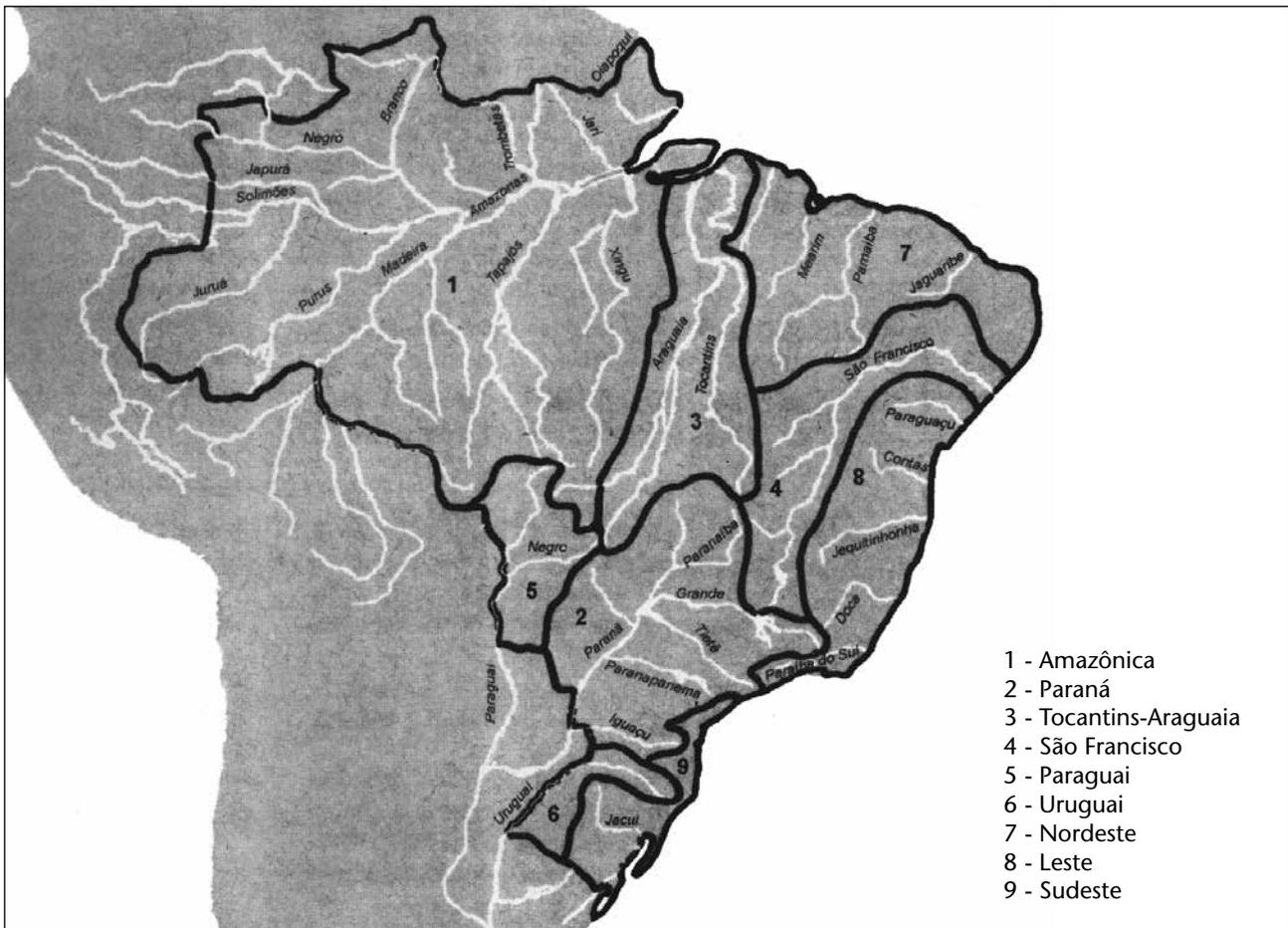
Encontrar soluções para a relação água/lixo

Pode parecer estranho num Manual sobre gerenciamento do lixo falar sobre água. Mas ela também é um desafio, pois seu consumo no Brasil dobrou nos últimos vinte anos e, num futuro não muito distante, poderemos nos defrontar com sérios problemas de disponibilidade de água potável e de elevação dos custos para sua adução e tratamento, sendo plausível estimar que, se nada for feito, em 10 anos, o desabastecimento poderá atingir grandes centros urbanos, como São Paulo, Recife, Rio de Janeiro, Belo Horizonte e a maioria das áreas metropolitanas do País em função da poluição e da queda de produção de mananciais e dos conflitos do uso múltiplo não planejado (irrigação, lazer, navegação, esgoto, etc.)

Como outro exemplo dessa perspectiva, pode-se citar o fato de a maioria dos riachos e córregos que

cortam as cidades brasileiras (sejam elas pequenas, médias ou grandes) já se encontram poluídos.¹¹

A urgência da adoção de ações para o lixo vem somar-se aos esforços atualmente desenvolvidos em muitas localidades brasileiras no sentido de preservar a qualidade de seus recursos hídricos. Esses esforços têm conseguido suporte na Política Nacional de Recursos Hídricos¹⁴, que criou o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, definindo que todas as iniciativas deverão ser tomadas a partir das bacias hidrográficas, que serão as unidades físico-territoriais de planejamento e gerenciamento dos recursos hídricos. Um dos pontos mais importantes desta lei é a previsão para o pagamento pela captação (ou uso) da água, uma vez que, até agora, só pagamos pelo seu tratamento e distribuição. Portanto, a água pode, no futuro, se tornar um produto de venda.¹²



Fonte: SILVA & AZZI¹²

Figura 9 - Bacias hidrográficas do Brasil

O Brasil possui 9 grandes bacias hidrográficas, conforme mostra o mapa da Figura 9. Para que os trabalhos de planejamento e gerenciamento dos recursos hídricos se dessem de forma mais ordenada, uma vez que cada uma dessas grandes bacias insere-se em mais de um Estado, foi definido que cada um deveria estabelecer disposições sobre a administração de águas de seu domínio, subordinadas à legislação federal, e estabelecendo:

- gerenciamento integrado, descentralizado e participativo dos recursos hídricos;
- adoção de bacias hidrográficas como unidades físico-territoriais de planejamento e gerenciamento dos recursos hídricos;
- criação de Comitês de Bacias Hidrográficas, compostos de representantes estaduais/municipais e entidades da sociedade civil, para definirem obras e ações necessárias para aproveitamento e controle da água na bacia, e deliberar sobre a aplicação de recursos necessários a estas obras e ações¹². Em outras palavras, “sentar-se à mesma mesa para conversar sobre a quantidade e a qualidade de suas águas – isto é um Comitê de Bacia”.¹³

Atualmente, 22 Estados dispõem de leis estaduais sobre gerenciamento de recursos hídricos, com fundamentos semelhantes à lei federal. Todas essas leis prevêm a criação dos Comitês de Bacias Hidrográficas, os quais, em vários casos, estão atuando sobre como é feito o gerenciamento de lixo em seus municípios, de que forma ele interfere nos recursos hídricos da região e, em conjunto, estão buscando soluções e recursos para seu equacionamento.¹⁴

Esta política e suas ações estão sendo muito importantes no reconhecimento da necessidade da preservação e proteção de nossos recursos hídricos, possibilitando, com isso, a criação de uma nova perspectiva de aporte de recursos para auxiliar os municípios na resolução de seus problemas com o lixo.

4 CONCEPÇÃO DE UM MODELO DE GERENCIAMENTO DE LIXO MUNICIPAL

A produção de lixo nas cidades brasileiras é um fenômeno inevitável que ocorre diariamente em quantidades e composições que variam com seu nível de desenvolvimento econômico, com sua população e seus diferentes estratos sociais.

Os sistemas de limpeza urbana são de competência municipal. Devem promover a coleta, o tratamento e a destinação ambiental e sanitária de forma correta e segura. No entanto, esta tarefa não é fácil, devido a fatores como:

- limitações de ordem financeira, como orçamentos inadequados, fluxos de caixa desequilibrados, tarifas desatualizadas, arrecadação insuficiente e inexistência de linhas de crédito específicas;
- deficiência na capacitação técnica e profissional – do garí ao engenheiro-chefe;
- descontinuidade política e administrativa;
- ausência de controle ambiental.

Os fatores acima constituem-se em problemas que, se aceitos passivamente, têm como conseqüência o imobilismo quanto à questão do lixo urbano, resultando em problemas na saúde e no ambiente. O administrador deve utilizar toda sua habilidade, e contar com a cooperação da população para superá-los gradativamente e conceber soluções na medida das possibilidades, mas continuamente.

Existem inúmeros modelos para o gerenciamento integrado do lixo. Nesta infinidade de opções, nenhuma sugestão ou consultoria substitui o conhecimento que está nos cidadãos e em sua administração municipal.

4.1 Diagnóstico da Situação

O diagnóstico da situação é essencial para a definição de um modelo de gerenciamento. O diagnóstico de qualquer situação só pode ocorrer após o levantamento de vários dados, de modo a se conhecer:

- a dimensão atual do problema;
- os prognósticos para o futuro;
- os recursos humanos, materiais e financeiros que se dispõe ou que poderão ser obtidos.

AS AÇÕES PRIORITÁRIAS PARA QUALQUER MODELO DE GERENCIAMENTO DO LIXO DEVEM SER:

- 1ª) Coletar todo o lixo gerado de responsabilidade da Prefeitura.
- 2ª) Dar um destino final adequado para todo lixo coletado.
- 3ª) Buscar formas de segregação e tratamento para o lixo do seu município. Considerar que essas formas só darão resultados positivos e duradouros se responderem a claros requisitos ambientais e econômicos.
- 4ª) Fazer campanhas e implantar programas voltados à sensibilização e conscientização da população no sentido de manter a limpeza da cidade;
- 5ª) Incentivar medidas que visem diminuir a geração de lixo.

É importante lembrar que essas ações não acontecem rigorosamente nessa ordem, mas se combinam de acordo com as circunstâncias, como, por exemplo, para garantir a coleta de todo o lixo deve haver colaboração e, portanto, conscientização da população.

Este Manual apresenta, a seguir, um questionário composto por questões básicas que, se respondidas, darão condições para o administrador efetuar o diagnóstico da situação do lixo em seu município.

O questionário é extenso, mas o administrador deve tentar responder a todas as questões, pois assim poderá identificar os principais problemas a enfrentar.

O Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) divulgou os resultados da Pesquisa Nacional de Saneamento Básico (PNSB), no ano 2010. A pesquisa investigou novamente as condições de saneamento básico de todos os municípios brasileiros, através da atuação dos órgãos públicos e empresas privadas, permitindo uma avaliação sobre a oferta e a qualidade dos serviços prestados e também análises das condições ambientais e suas implicações diretas com a saúde e a qualidade de vida da população. Dentre os temas pesquisados, estão a limpeza urbana e a coleta de lixo.

O diagnóstico da situação poderá ser complementado pela análise crítica dos programas já existentes no município e deverá ser periodicamente atualizado.

QUESTIONÁRIO PARA CONHECER A SITUAÇÃO TUAL DO MUNICÍPIO

(todas as questões de ordem econômica estão em negrito para facilitar a composição de um orçamento)

LEGISLAÇÃO (Capítulo VII)

1. A Prefeitura sabe das responsabilidades quanto ao lixo, no âmbito municipal, estadual e federal em sua cidade? _____

2. Existe um Plano Estadual de Resíduos Sólidos em seu Estado? Sim ___ Não ___. Em caso afirmativo, como se enquadra o seu município? _____

3. Existe um Inventário Estadual de Resíduos Sólidos em seu Estado? Sim ___ Não ___. Em caso afirmativo, como seu município está classificado? _____

4. Existe um Plano Diretor Regional de Resíduos Sólidos que abranja seu Município? Sim ___ Não ___. Em caso afirmativo, como as soluções definidas para seu município estão sendo cumpridas? Caso não estejam sendo cumpridas, por quê? _____

5. Seu município tem um Plano Diretor? Sim ___ Não ___. Em caso afirmativo, como o lixo municipal está contemplado neste Plano? _____

6. Seu município tem um Plano Diretor Municipal de Resíduos Sólidos? Sim ___ Não ___. Em caso afirmativo, ele está sendo cumprido? Caso não esteja sendo cumprido, por quê? _____

LEGISLAÇÃO/DISPOSIÇÃO/PROCESSAMENTO (Capítulos VII, V e IV)

1. Seu município já sofreu alguma sanção, por parte do Poder Público Estadual, sobre sua disposição de lixo? Em caso afirmativo, quais as medidas tomadas? _____

2. Quais os documentos necessários para aprovação, por parte da Secretaria Estadual de Meio Ambiente, de um local onde será feito o novo Aterro Sanitário ou Usina de Tratamento? _____

Quanto isto vai custar para a Prefeitura? _____ Quanto tempo, em média, será necessário para ser aprovado pelo órgão estadual? _____

LEGISLAÇÃO/ÁGUA (Capítulo VII)

1. O lixo, em seu município, está poluindo os recursos hídricos da região/bacia hidrográfica (rios, lagos, lagoas, poços, nascentes e água subterrânea)? Sim ___ Não ___. Em caso afirmativo, como?

2. Existe uma Política Estadual de Recursos Hídricos em seu Estado? Sim ___ Não ___. Em caso afirmativo, seu Estado já foi dividido em UGRHs – Unidades de Gerenciamento de Recursos Hídricos? Em que Bacia Hidrográfica seu município se localiza? _____

3. Já existem Comitês de Bacias formados em seu Estado? Sim ___ Não ___. Em caso positivo, seu município já está representado em seu respectivo Comitê? Sim ___ Não ___.

SERVIÇOS DE LIMPEZA URBANA E/OU COLETA DE LIXO (Capítulos II e III)

1. Quais os tipos de lixo produzidos no município?

domiciliar: ___ público: ___ comercial: ___ de serviços de saúde: ___ agrícola: ___ industrial: ___

portos: ___ aeroportos: ___ terminais rodoviários: ___ terminais ferroviários: ___ entulho: ___

2. Quanto de cada tipo de lixo é gerado em seu município?

domiciliar _____	t/dia	agrícola _____	t/dia
público _____	t/dia	industrial _____	t/dia
comercial _____	t/dia	terminais ferroviários _____	t/dia
aeroportos _____	t/dia	terminais rodoviários _____	t/dia
portos _____	t/dia	entulho _____	t/dia
serviços hospitalares e de saúde _____	kg/dia		

3. Quais os tipos de lixo que a Prefeitura ou empresa contratada coleta? _____

4. O município cobra pelo serviço de limpeza urbana e/ou coleta de lixo? Sim ___ Não ___.
Em caso positivo, qual a forma de cobrança?

Taxa específica _____	Tarifa por serviços especiais _____
Taxa junto com o IPTU _____	Outra _____

5. Qual o percentual do Orçamento Municipal destinado aos serviços de limpeza urbana e/ou coleta de lixo? Até 5% _____ Entre 5% e 10% _____ Entre 10% e 15% _____
Entre 15% e 20% _____ Mais de 20% _____

6. Quanto a Prefeitura gasta com os serviços de limpeza pública e/ou de coleta e transporte do lixo domiciliar? _____ /mês. Quanto a Prefeitura gasta com outros serviços de coleta e transporte _____ /mês? Total _____ /mês.

7. Qual o percentual de domicílios do seu município tem o lixo coletado? _____ %

8. Qual a composição do lixo domiciliar coletado?

_____ % matéria orgânica _____ % papel _____ % vidro _____ % plástico _____ %
metal _____ % outros. Quais?

COLETA, VARRIÇÃO E CAPINA (Capítulo III)

1. Existe varrição das vias públicas? _____ Com que frequência? _____ Qual é o número de pessoas envolvidas no serviço? _____ Qual é o custo deste serviço? _____ /mês

2. Existe capina das vias públicas? _____ Com que frequência? _____ Qual é o número de pessoas envolvidas no serviço? _____ Qual é o custo deste serviço? _____ /mês

3. Existe limpeza de bueiros? _____ Com que frequência? _____ Qual é o número de pessoas envolvidas no serviço? _____ Qual é o custo deste serviço? _____ /mês

4. Existe limpeza de praias? _____ Com que frequência? _____ Qual é o número de pessoas envolvidas no serviço? _____ Qual é o custo deste serviço? _____ /mês

5. Existe algum outro tipo de serviço de limpeza? Qual? _____
(frequência, número de pessoas envolvidas, custo/mês)

6. Custo total destes serviços _____ /mês

ESTAÇÃO DE TRANSFERÊNCIA (Capítulo III)

1. Existe estação de transferência? _____ Em caso positivo, qual é a quantidade de lixo transferido? _____ Qual é o custo desta operação? _____ /mês

DESTINO E QUANTIDADE DO LIXO COLETADO (Capítulo V)

1. Onde se dá a destinação final do lixo municipal? (use o mapa do município para localizar esta(s) área(s)) _____

2. Como é feito o controle da quantidade de lixo a ser destinado?

Pesado em balança? ___ Outro? ___ Qual? ___

3. Assinale abaixo onde é feita a destinação.

Vazadouro a céu aberto	_____	quantos?	_____
Vazadouro em áreas alagadas	_____	quantos?	_____
Aterro controlado	_____	quantos?	_____
Estação de compostagem	_____	quantas?	_____
Estação de triagem para reciclagem	_____	quantas?	_____
Incineração	_____	quantos?	_____
Despejo em local não-convencional	_____	quantos?	_____
Outro	_____	quantos?	_____
Total	_____		

4. Quem é(são) o(s) proprietário(s) da(s) área(s) utilizada(s) para a disposição final dos resíduos?

Prefeitura _____ Entidade prestadora do serviço _____ Particular _____ Outro _____

Qual o custo destas áreas para a Prefeitura? _____ /mês

5. Onde fica(m) o(s) local(ais) de destinação do lixo?

Dentro do perímetro urbano: próximo a residências ___ próximo a áreas de proteção ambiental ___
outras áreas ___

Fora do perímetro urbano: próximo a residências ___ próximo a áreas com atividade agrícola/pecuária ___
próximo a áreas de proteção ambiental ___ outras áreas ___

6. Quanto a Prefeitura gasta com os serviços de destinação final do lixo (excluindo os serviços de limpeza pública e/ou coleta e transporte)? _____ /mês (incluir todos os custos, como mão-de-obra, manutenção, operação, energia, combustíveis, etc.).

ENTULHO (Capítulo IV – Parte 7)

1. Existe coleta de entulho e de bens móveis. inservíveis? Sim _____ Não _____

2. Qual a quantidade coletada? _____ t/mês

3. Deste total, quanto é coletado pela Prefeitura _____ t/mês. Quanto é coletado por Empresas Privadas? _____ t/mês

4. Qual o destino do entulho? Mesmo local usado pela Prefeitura para o lixo municipal _____
Estação de reciclagem _____ Outro _____

5. Existe fiscalização por parte da Prefeitura sobre o entulho coletado por Empresas Privadas?
Sim _____ Não _____

Obs.: Coloque no mapa do município todo(s) o(s) local(is) de disposição do entulho

COLETA E DESTINO FINAL DO LIXO DOS SERVIÇOS DE SAÚDE (Capítulo IV – Parte 10)

1. A Prefeitura coleta este tipo de lixo? Sim _____ Não _____

2. Em caso positivo, em que tipo de veículo? Em veículo destinado a coletar exclusivamente lixo das unidades de saúde e hospitalares _____ Em veículo destinado a coletar lixo comum _____
Outro _____ Qual? _____

3. Como é feito o tratamento do lixo nas unidades de saúde?

Incinerador _____ Queima a céu aberto _____ Microondas _____ Forno _____ Autoclave _____
Outra _____ Qual? _____ Não existe tratamento _____

4. Como é feita a destinação deste tipo de lixo?

Para o mesmo local dos demais tipos de lixo? Vazadouro _____ Aterro _____
Ou para aterro de resíduos especiais: próprio _____ de terceiros _____
outra destinação _____

5. Qual é o custo de todo este serviço para a Prefeitura? _____ /mês
(procure conhecer o custo de cada etapa: coleta/transporte/tratamento/destino final).

INFORMAÇÕES SOBRE CATADORES DE LIXO (Capítulo IV – Parte 1)

1. A Prefeitura tem conhecimento sobre a presença de catadores na(s) unidade(s) de destino final do lixo?

Sim ____ Total ____: Até 14 anos ____ Maior de 14 anos ____ Não ____

2. Existe algum trabalho social desenvolvido com os catadores?

Não ____ Sim ____ Qual? Cadastro em unidades de destino final e encaminhamento a postos de trabalho ____ Encaminhamento a programas de coleta seletiva em postos de trabalho e renda ____ Organização social de catadores (cooperativas, associações, etc.) _____
Outros ____ Qual? ____

3. Os catadores são ligados a cooperativas ou associações? Sim ____ Não ____

4. Existem residências sobre os lixões? Sim ____ Não ____

5. Qual o número estimado de pessoas que residem sobre os lixões?

Até 14 anos ____ Maior de 14 anos ____ Total ____

INFORMAÇÕES SOBRE DISTRITOS/BAIRROS COM SERVIÇO DE LIMPEZA E/OU COLETA DE LIXO (Capítulo III)

1. Utilizando um mapa do município, procure identificar em cada distrito/bairro os tipos de serviço que a Prefeitura executa:

Nome do distrito/bairro: _____

Natureza do Serviço:

Limpeza urbana	S ____ N ____	Remoção de entulhos	S ____ N ____
Coleta de Lixo	S ____ N ____	Coleta de lixo especial	S ____ N ____
Coleta Seletiva	S ____ N ____	Tratamento e disposição final	S ____ N ____
Reciclagem	S ____ N ____		

2. Utilizando o mesmo mapa da questão anterior, identifique os locais de destino final do lixo

Nome do distrito/bairro:

Vazadouro a céu aberto S ___ N ___

Vazadouro em áreas alagadas S ___ N ___

Aterro controlado S ___ N ___

Estação de compostagem S ___ N ___

Estação de triagem para reciclagem S ___ N ___

Incinerador S ___ N ___

Despejo em local, não-convencional S ___ N ___

3. Existe serviço de atendimento ao público? Sim ___ Não ___

4. Dos serviços solicitados, quais os de maior número de solicitações? _____

5. Qual a porcentagem de atendimento a estas solicitações? _____ %

6. Qual é a avaliação pela população dos serviços de Limpeza Pública?

Ótima ___ Boa ___ Regular ___ Péssima ___

COLETA SELETIVA NO MUNICÍPIO (Capítulo IV – Parte 1)

1. Existe coleta seletiva no município? Sim ___ Não ___

2. Existe projeto para implantação de coleta seletiva?
em planejamento ___ suspenso ___ não existe projeto ___

3. De quem é a iniciativa do projeto e/ou implantação da coleta seletiva?
Prefeitura ___ ONG ___ Associações (bairros, condomínios, etc.) ___ Iniciativa privada ___

4. Se for da Prefeitura, quantas pessoas trabalham neste serviço? _____

5. Número estimado de residências cobertas pela coleta seletiva _____

6. Número estimado de pessoas residentes cobertas pela coleta seletiva _____

7. Quantidade estimada de material reciclável coletado _____ t/dia

8. Quais os materiais, recuperados na coleta seletiva?

papel _____ plásticos _____ vidros _____ metais (não-ferrosos e ferrosos) _____ outros _____

9. Qual a área de abrangência da coleta seletiva?

todo o município _____ bairros selecionados _____ somente o distrito sede _____

10. Quem participa da coleta seletiva?

residências ___ empresas ___ escolas ___ condomínios ___ igreja ___ projeto-piloto ___ outros ___

11. A coleta seletiva está tendo continuidade? Sim _____ Não _____

12. Qual o motivo da interrupção da coleta seletiva?

falta de campanha de conscientização _____ falta de local adequado _____ outro motivo _____

13. O que é feito com o material proveniente da coleta seletiva?

comercialização _____ doação _____ permuta _____ outro _____

14. Como são aplicados os recursos provenientes da coleta seletiva?

manutenção da coleta seletiva ___ atividades socioculturais ___ atividades assistenciais ___
atividades de produção ___ outras aplicações ___ não há aplicação específica _____

15. Qual é o principal receptor final da coleta seletiva?

comerciantes de materiais reciclados ___ entidades beneficentes ___ indústrias recicladoras ___
depósitos/aparistas ___ outros ___ quem? _____

16. Houve campanha de esclarecimento/conscientização na coleta seletiva? Sim _____ Não _____

17. Qual a participação da população na coleta seletiva? Boa ___ Regular ___ Com resistência ___

18. Existe participação de catadores na coleta seletiva? Em cooperativas _____ Isolados _____
Não existe participação _____

19. Qual o custo para Prefeitura da coleta seletiva _____ /mês? (procure identificar custo com pessoal/equipamentos/operação e manutenção).

20. A Prefeitura sabe quanto do lixo coletado seletivamente (em quilos ou toneladas por dia ou mês) deixa de ir para o local de destinação final (lixão ou aterro)? _____

Procure responder às perguntas deste questionário por escrito e da forma mais detalhada possível. O resultado servirá como uma ferramenta para seu trabalho. Use o mapa do seu município para localizar e identificar todas as ações que estão sendo implementadas.

PREVENDO A SITUAÇÃO FUTURA DO MUNICÍPIO

As perguntas abaixo só deverão ser respondidas se o Município não tiver um Plano Diretor Regional ou Municipal de Resíduos Sólidos.

1. Qual é a estimativa de crescimento do seu município para 5 anos? 10 anos? 15 anos? 20 anos? (aumento de população, aumento de área urbana, aumento de industrialização, etc.) _____

2. Qual deverá ser a quantidade de lixo a ser gerada no município daqui a 5, 10, 15 e 20 anos (em toneladas por dia, por mês e por ano)? _____

3. Quais são as principais metas do município para daqui a 5, 10, 15 e 20 anos com relação a:

3.1 Coleta e transporte? _____

3.2. Tratamento do lixo? _____

3.3. Disposição final:

O local ou locais para onde o lixo é destinado hoje terá espaço suficiente para receber o lixo no futuro? Sim ___ Não ___ Em caso afirmativo, por quanto tempo? _____

3.4. Qual a situação do município em relação a:

A. Novos locais para a destinação do lixo? _____

B. Recuperação de áreas contaminadas por lixões? _____

C. Programas de Educação e Conscientização Ambiental? _____

D. Ações regionais (programas com municípios vizinhos)? _____

4.2 Plano Diretor de Gerenciamento Integrado do Lixo Municipal

O Plano de Gerenciamento integrado do Lixo Municipal, também denominado Plano Diretor do Lixo Municipal e Plano de Gestão do Lixo Municipal, é um documento que aponta e descreve as ações relativas ao seu manejo, contemplando os aspectos referentes a geração, segregação, acondicionamento, coleta (convencional ou seletiva), armazenamento, transporte, tratamento e disposição final, bem como proteção à saúde pública.¹⁵

Ele deve ser iniciado com a definição das ações que o município pretende realizar. É muito importante que

essas ações sejam vistas como metas a serem alcançadas a curto, médio e longo prazo, já que nem sempre é possível alcançá-las a todas ao mesmo tempo.

Para cada **Ação** a ser realizada existe uma gama variada de **Alternativas** possíveis, tanto com relação a locais (de aterro, estações de transbordo, usinas de tratamento, unidades de educação ambiental), como técnico-operacional (rotas de coleta, sistema de coleta, sistema de triagem).

É bom lembrar que as ações regionalizadas ampliam os benefícios e reduzem os custos. Assim, parcerias, consórcios ou qualquer outra forma de solução conjunta é sempre bem-vinda.

A seleção das melhores alternativas poderá ser feita utilizando-se quatro critérios:

- a) critério econômico-financeiro – para definir, razoavelmente, custos mínimos, taxa de retorno, custo/benefício e viabilidade financeira e tarifária do negócio (ou outro objetivo econômico-financeiro);
- b) critério ambiental – para se assegurar que em todas as soluções adotadas os recursos naturais (água, ar, solo, flora e fauna) do município e da região estejam sendo preservados e protegidos;
- c) critério social – para estabelecer índices sobre efeitos positivos na saúde, segurança, educação, e de manutenção e geração de emprego, renda, lazer, ascensão social e outros benefícios, expressos de modo equitativo, notadamente na população afetada pela inserção regional da alternativa;
- d) critério político-gerencial – para otimizar modelos alternativos de cooperação, parcerias e acordos compensatórios, necessários à inserção regional da alternativa proposta, assegurando a receptividade, apoio e boa convivência com entidades (municipal, estadual, federal e privada) e comunidades presentes na área geográfica influenciada.

A montagem de diferentes cenários para município pode parecer sofisticação, mas, a partir das alternativas estudadas (que com certeza serão mais de uma para cada ação), permite uma visão de como será possível gerenciar de forma integrada o lixo municipal.

Estes cenários permitirão não somente visualizar as diferentes combinações entre as ações e seus diferentes graus de integração, como também numa análise comparativa (usando, por exemplo, o custo e o grau de impacto ambiental que cada um vai causar) selecionar a melhor alternativa. É importante lembrar que nem sempre o cenário composto com a melhor alternativa para cada ação é o mais apropriado para o município.

A Figura 10 apresenta um esquema que pode ser seguido na definição do Plano de Gerenciamento do Lixo Municipal.

ESTUDO DO CICLO DE VIDA DO LIXO

- Uma ferramenta importante -

O administrador do município, ao planejar o gerenciamento integrado do lixo, geralmente se depara com uma série de modelos que podem ser seguidos. A escolha do caminho ideal, ou seja, aquele que mais se aproxima do modo ambiental e economicamente sustentável, não é tarefa fácil e exige a ajuda de ferramentas que possam prever os custos e os impactos ambientais e sociais desses modelos.

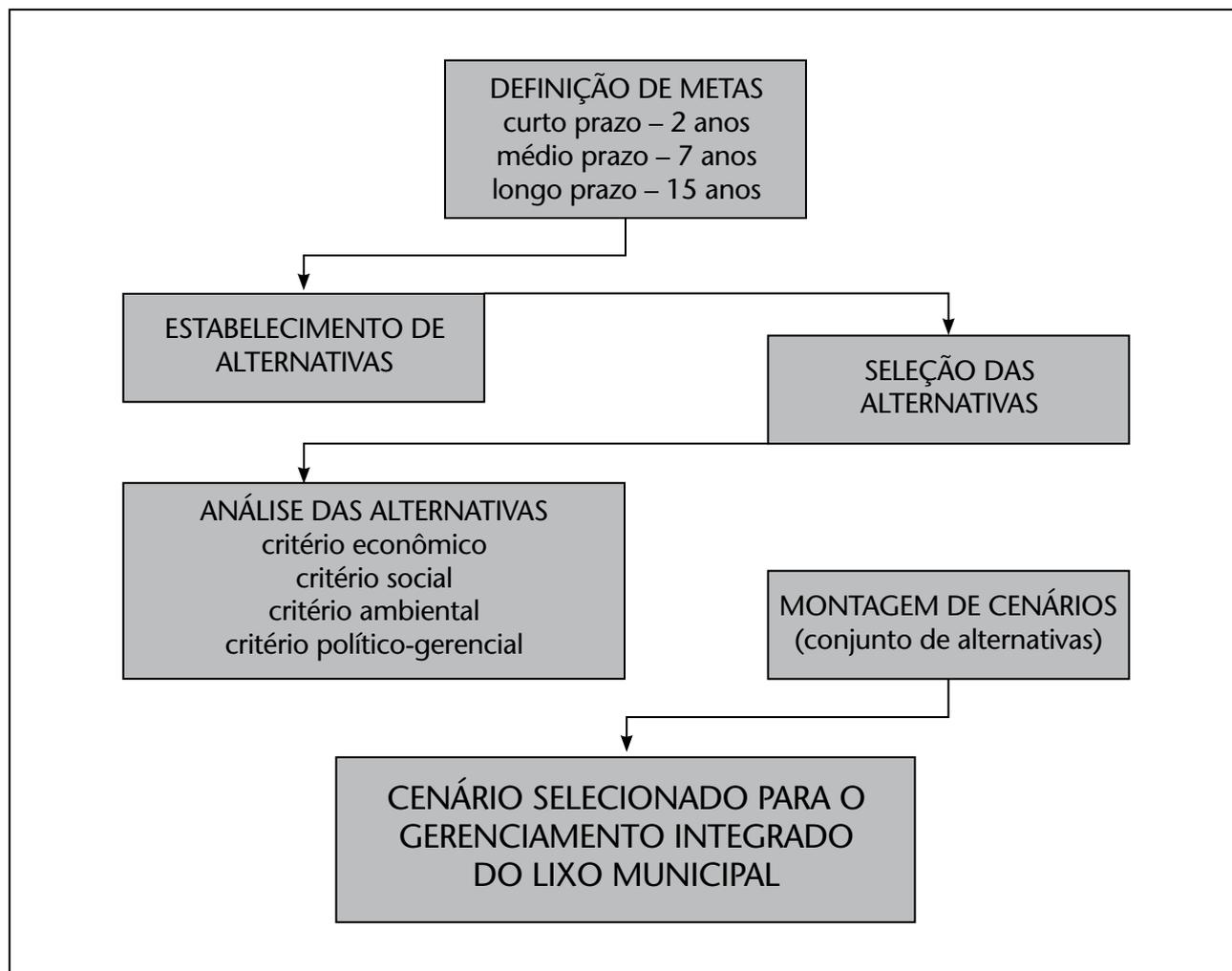
Nesse sentido, o Estudo do Ciclo de Vida (*Life Cycle Assessment – LCA*) se apresenta como uma técnica de grande importância. Ela implica o levantamento de informações relativas a produtos ou serviços e seus respectivos impactos, com base nas variáveis de entrada e saída, considerando o consumo de matérias-primas, energia e seus efeitos associados que provocam emissões para o ar, terra e solo.

O Estudo do Ciclo de Vida é um processo que consiste de várias etapas, que basicamente são:

- *Definição dos objetivos e metas*, que consiste no estabelecimento de uma linha mestra para o estudo, definindo os pontos que serão considerados, as unidades funcionais para comparação, as fronteiras do sistema, ou seja, o que será incluído ou omitido na avaliação. Nesta etapa é definida a profundidade e a extensão do estudo;
- *Inventário*, que considera todo o material e energia que entra e sai durante as várias fases do ciclo de vida do produto ou serviço; a soma do inventário destas fases é o inventário do ciclo de vida completo. Nesta etapa, a coleta de dados confiáveis, ou seja, procedentes de fontes idôneas, é imprescindível;
- *Avaliação e interpretação dos impactos*, que consiste em converter os dados do inventário em impactos, que podem ser global, continental, regional ou local, e na interpretação destes, a qual é de certo modo subjetiva, embora apoiada em bases técnicas.

No Estudo do Ciclo de Vida do lixo municipal são avaliadas as atividades de coleta, transporte, aterro, segregação, triagem, compostagem e incineração, que têm impactos ambientais, assim como benefícios. A partir daí, criam-se diferentes cenários, para que numa comparação entre eles, seja possível escolher o conjunto de atividades que produza o menor impacto ambiental e com o menor custo.¹⁶

Existem programas de computação voltados à análise do ciclo de vida que podem ser usados na simulação de cenários. Já existem alguns trabalhos na literatura sobre a análise do ciclo de vida de lixo municipal.¹⁷



Fonte: CUNHA et al.¹⁸

Figura 10 – Roteiro para estabelecimento do Plano Diretor de Gerenciamento Integrado do Lixo Municipal

A Figura 11 ilustra o conjunto de possibilidades que a administração municipal pode considerar na composição das ações para a montagem do seu Plano Diretor do Lixo Municipal. É importante destacar que as ações para a Coleta de Lixo e para a Disposição Final devem ocorrer na seqüência mostrada nesta Figura.

Cabe enfatizar que o Plano Diretor deve estipular também os procedimentos de melhoria contínua dos serviços prestados para cada uma das ações definidas e que sua implementação deve ser compatível com as necessidades e as possibilidades de cada

município (disponibilidade de recursos financeiros e humanos, sobretudo), devendo ser periodicamente reavaliado, redefinido e implementado em níveis sucessivamente mais evoluídos de compromisso e adequação ambiental.

A execução das ações planejadas, de forma racional e integrada, propiciará o gerenciamento adequado do lixo, um dos serviços de maior visibilidade por seus efeitos imediatos, a limpeza da cidade e a proteção do meio ambiente traduzindo-se em boa aceitação da administração municipal por parte da

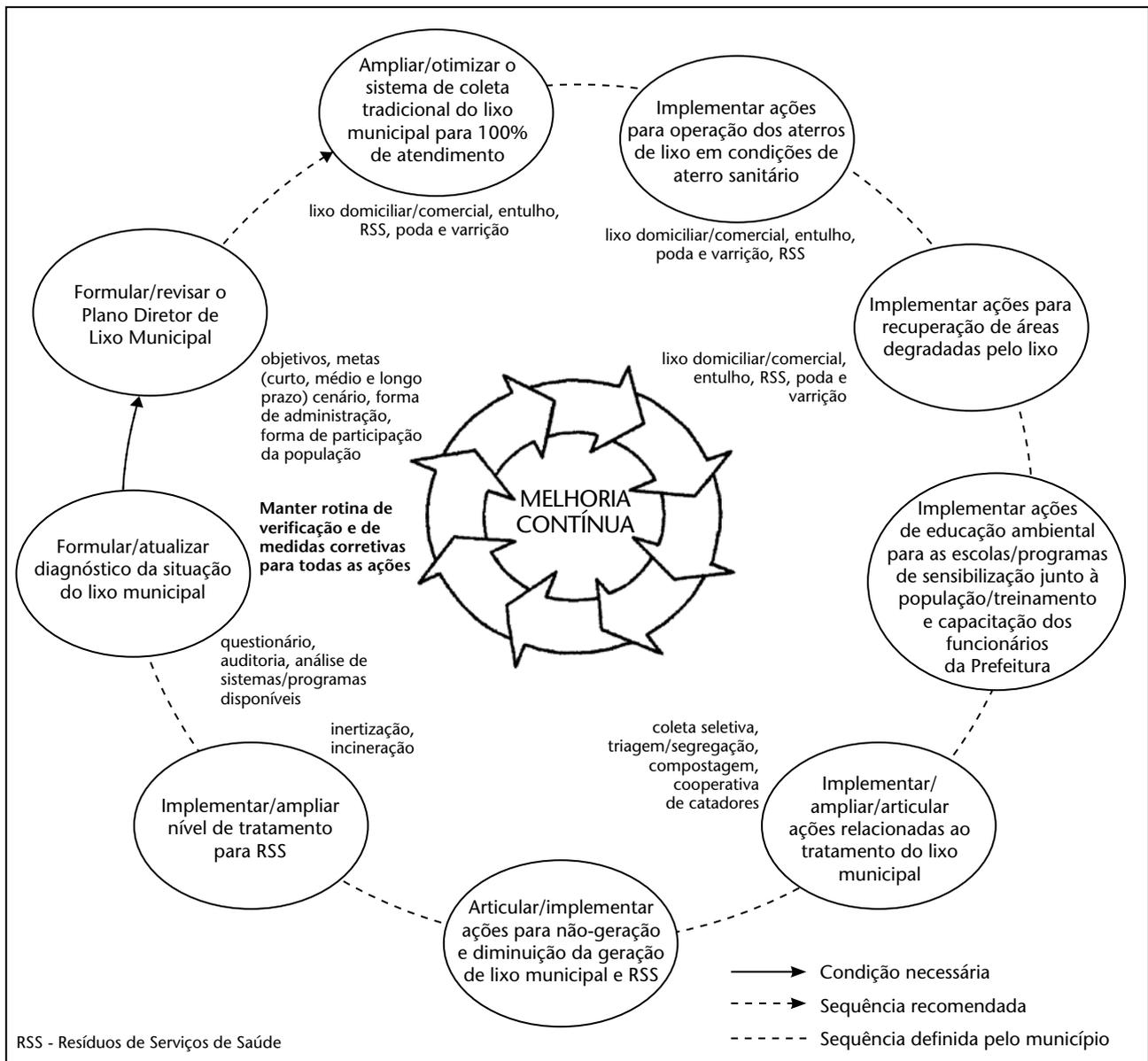


Figura 11 – Quadro de Gerenciamento Integrado do Lixo Municipal

população, assegurando, saúde, bem-estar e economia de recursos públicos, além de vir ao encontro de um desejo maior que é a melhoria da qualidade de vida da geração atual e das futuras.

4.3 Considerações Finais

No Gerenciamento Integrado do Lixo não devem ser esquecidos os compromissos assumidos pelos prefeitos e representantes municipais reunidos no

REMAI'91 – I Encontro de Prefeitos de Metrôpoles Latino-Americanas¹⁹, que são:

- Implementar programas que estimulem a diminuição da geração de resíduos.
- Implementar pesquisas de tecnologias não-agressivas ao meio ambiente e compatíveis com a realidade socioeconômica latino-americana.
- Adotar programas que assegurem a recuperação e a descontaminação de áreas degradadas.

- Desenvolver programas de educação ambiental com ênfase na questão de produção e tratamento dos resíduos.
- Minimizar a disposição de resíduos, estabelecendo programas de pré-seleção, reciclagem e reutilização.
- Implantar unidades de destinação final de resíduos com tecnologias que minimizem os impactos ambientais
- Assegurar controle adequado no transporte e transbordo de resíduos e materiais perigosos.
- Apoiar a adoção de programas de cooperação horizontal e vertical entre as esferas de governo, especialmente as iniciativas de articulação entre municípios.
- Atualizar a taxa de limpeza urbana visando o custeio integral da coleta e destino final dos resíduos sólidos domiciliares.
- Implantar sistema funcional de fiscalização e controle ambiental aplicando sanções aos despejos clandestinos e à disposição inadequada de resíduos.
- Elaborar Plano de Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos.
- Reconhecer e disciplinar a catação ambulante de materiais recicláveis.

BIBLIOGRAFIA

1. RELIS, P.; DOMINSKI, A. 1990. *Beyond the crisis: integrated waste management*. Santa Barbara: Gildea Resource Center/Community Environmental Council. 48 p.
2. European Environment Agency (EEA) 2013 e Eurostat, 2014.
3. CEMPRE – Compromisso Empresarial para Reciclagem. 2008: “Reciclagem ontem, hoje e sempre”. São Paulo. 146 p.
4. European Environment Agency (EEA) 2013, US Environmental Protection Agency (EPA) 2013, Planet Aid 2015, Sustenta, Tipmse, Cempre 2013.
5. Abrelpe (Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais). “Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil”, 2007, 2013 e 2015.
6. IBGE, 2010 (Pesquisa Nacional de Saneamento Básico 2008).
7. IBGE, 2010 (Pesquisa Nacional de Saneamento Básico 2008).
8. IBGE, Censo 2010.
9. IBGE, 2015. Diretoria de Pesquisas - DPE, Coordenação de População e Indicadores Sociais - COPIS.
10. UNESCO, 2016. Relatório Mundial das Nações Unidas sobre Desenvolvimento dos Recursos Hídricos 2016.
11. COMO o mundo utiliza a sua água. *Folha de S. Paulo*, 2 jul. 1999. Especial Ano 2000.
12. BRASIL. Ministério do Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e da Amazônia Legal. *Recursos hídricos no Brasil*. abr.
12. SILVA, J. H.; AZZI, R. G. 1993. *Geografia: novo manual Nova Cultural*. São Paulo: Ed. Nova Cultural, p. 13.
13. ZINATO, M.C. 1999. *Água pode se tornar produto raro*. E-mail redacao@revistarural.com.br (dez.). (Entrevista à Revista Rural).
14. Política Nacional de Recursos Hídricos. Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997.
15. BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Secretaria Executiva, Fundo nacional do Meio Ambiente. 2000. *Fomento a projetos de ordenamento da coleta e disposição final adequada de resíduos sólidos: manual para apresentação de propostas*. Brasília: MMA. (Edital FNMA 02/2000).
16. WHITE, P. R.; FRANKE, M.; HINDLE, P. 1999. *Integrated solid waste management: a lifecycle inventory*. Maryland: Aspen Publication Maryland.
17. FRANKE, M. 1998. *Inventario de ciclo de vida: una herramienta para optimizar los productos y el manejo integral de los residuos sólidos*. Seminario Internacional sobre Manejo Integral de Resíduos Sólidos. México. out. p. 21-30.
18. CUNHA, M. et al. 1999. *Metodologia para elaboração de plano diretor regional de resíduos sólidos domiciliares*. Seminário de Gestão Ambiental. São Paulo: FEA/FGV. nov.
19. CARTA de São Paulo sobre gestão e tecnologias de tratamento de resíduos. 1992. I Encontro de Prefeitos de Metrôpoles Latino-Americanas sobre Gestão de Resíduos, Documento Síntese. REMAI'91, p. 25-27, São Paulo. mai.
20. UNRIC 2014 (Centro Regional de Informação das Nações Unidas).

CAPÍTULO II

**ORIGEM E COMPOSIÇÃO
DO LIXO**

LIXO MUNICIPAL
MANUAL DE GERENCIAMENTO INTEGRADO

1 INTRODUÇÃO

Denomina-se lixo os restos das atividades humanas, considerados pelos geradores como inúteis, indesejáveis ou descartáveis. Normalmente, apresentam-se sob estado sólido, semi-sólido ou semilíquido (com conteúdo líquido insuficiente para que este possa fluir livremente)¹.

Embora *lixo* e *resíduo sólido* sejam a mesma coisa, o termo lixo será adotado preferencialmente neste Capítulo.

2 CLASSIFICAÇÃO DO LIXO

São várias as formas possíveis de se classificar o lixo. Por exemplo:

- por sua natureza física: seco e molhado;
- por sua composição química: matéria orgânica e matéria inorgânica;
- pelos riscos potenciais ao meio ambiente: perigosos, não-inertes e inertes^{1, 2, 3, 4}, conforme mostrado no Quadro 1.

Quadro 1 – Classificação dos resíduos sólidos quanto à periculosidade

Categoria	Característica
Classe I (Perigosos)	Apresentam risco à saúde ou ao meio ambiente, caracterizando-se por possuir uma ou mais das seguintes propriedades: inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade e patogenicidade.
Classe II A (Não-inertes)	Podem ter propriedades como: combustibilidade, biodegradabilidade ou solubilidade, porém, não se enquadram como resíduo I ou II B.
Classe II B (Inertes)	Não têm constituinte algum solubilizado em concentração superior ao padrão de potabilidade de águas.

Fonte: ABNT, 2004¹

Outra importante forma de classificação do lixo é quanto à origem, ou seja, domiciliar, comercial, varrição e feiras livres, serviços de saúde e hospitalar, portos, aeroportos e terminais ferroviários e rodoviários, industriais, agrícolas e entulhos.

2.1 Domiciliar

Aquele originado na vida diária das residências, constituído por restos de alimentos (casca de frutas, verduras, sobras, etc.), produtos deteriorados, jornais e revistas, garrafas, embalagens em geral, papel higiênico, fraldas descartáveis e uma grande diversidade de outros itens. Contém, ainda, alguns resíduos que podem ser tóxicos (ver item 6 deste Capítulo).

2.2 Comercial

Aquele originado nos diversos estabelecimentos comerciais e de serviços, tais como supermercados, estabelecimentos bancários, lojas, bares, restaurantes, etc.

O lixo destes locais tem grande quantidade de papel, plásticos, embalagens diversas e resíduos de asseio dos funcionários, tais como papel-toalha, papel higiênico, etc.

2.3 Público

Aquele originado dos serviços de:

- limpeza pública urbana, incluindo-se todos os resíduos de varrição das vias públicas; limpeza de praias; limpeza de galerias, córregos e terrenos; restos de podas de árvores; corpos de animais, etc.;

- limpeza de áreas de feiras livres, constituído por restos vegetais diversos, embalagens, etc.

2.4 Serviços de Saúde e Hospitalar

Constituem os resíduos sépticos, ou seja, aqueles que contêm ou potencialmente podem conter germes patogênicos, oriundos de locais como: hospitais, clínicas, laboratórios, farmácias, clínicas veterinárias, postos de saúde, etc. Tratam-se de agulhas, seringas, gases, bandagens, algodões, órgãos e tecidos removidos, meios de culturas e animais usados em testes, sangue coagulado, luvas descartáveis, remédios com prazo de validade vencido, instrumentos de resina sintética, filmes fotográficos de raios X, etc.

Os resíduos assépticos destes locais, constituídos por papéis, restos da preparação de alimentos, resíduos de limpezas gerais (pós, cinzas, etc.) e outros materiais, desde que coletados segregadamente e

não entrem em contato direto com pacientes ou com os resíduos sépticos anteriormente descritos, são semelhantes aos resíduos domiciliares (ver Capítulo IV – Processamento do Lixo – Parte 10: Resíduos de Serviços de Saúde).

2.5 Portos, Aeroportos e Terminais Rodoviários e Ferroviários

Constituem os resíduos sépticos, ou seja, aqueles que contêm ou potencialmente podem conter germes patogênicos, produzidos nos portos, aeroportos e terminais rodoviários e ferroviários. Basicamente, constituem-se de materiais de higiene, asseio pessoal e restos de alimentos, os quais podem veicular doenças provenientes de outras cidades, estados e países.

Também neste caso, os resíduos assépticos destes locais, desde que coletados segregadamente e não entrem em contato direto com os resíduos sépticos anteriormente descritos, são semelhantes aos resíduos domiciliares.

2.6 Industrial

Aquele originado nas atividades dos diversos ramos da indústria, tais como metalúrgica, química, petroquímica, papelaria, alimentícia, etc.

O lixo industrial é bastante variado, podendo ser representado por cinzas, lodos, óleos, resíduos alcalinos ou ácidos, plásticos, papéis, madeiras, fibras, borrachas, metais, escórias, vidros e cerâmicas, etc. Nesta categoria, inclui-se a grande maioria do lixo considerado tóxico (Classe I).

2.7 Agrícola

São resíduos sólidos das atividades agrícolas e da pecuária. Incluem embalagens de fertilizantes e de defensivos agrícolas, rações, restos de colheita, etc.

Em várias regiões do mundo, estes resíduos já constituem uma preocupação crescente, destacando-se as enormes quantidades de esterco animal geradas nas fazendas de pecuária intensiva.

As embalagens de agroquímicos, geralmente altamente tóxicos, têm sido alvo de legislação específica quanto aos cuidados na sua destinação final. A tendência mundial, neste particular, é para a co-responsabilização da indústria fabricante nesta tarefa.

2.8 Entulho

Resíduo da construção civil, composto por materiais de demolições, restos de obras, solos de escavações diversas, etc. O entulho é geralmente um material inerte, passível de reaproveitamento, porém, geralmente contém uma vasta gama de materiais que podem lhe conferir toxicidade, com destaque para os restos de tintas e de solventes, peças de amianto e metais diversos, cujos componentes podem ser remobilizados caso o material não seja disposto adequadamente.

No Quadro 2 é indicada a responsabilidade pelo gerenciamento dos resíduos descritos anteriormente.

Quadro 2 – Responsabilidade pelo gerenciamento do lixo

Origem do 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

(*) A Prefeitura é responsável por quantidades pequenas (geralmente inferiores a 50 kg) de acordo com a legislação municipal específica, Quantidades superiores são de responsabilidade do gerador.

3 OBJETO DE ANÁLISE DESTA MANUAL

Será discutido, neste e nos capítulos subsequentes, o chamado *Lixo Municipal*, ou seja, aquele gerado no ambiente urbano e constituído pelos materiais de origem domiciliar, de estabelecimentos de comércio, de serviços, de varrição e de feiras livres, sendo de atribuição e responsabilidade exclusiva das prefeituras, desde a coleta até a destinação final. Qualquer outra citação do termo lixo em contexto diferente será identificada.

4 CONHECIMENTO DO LIXO DO MUNICÍPIO

O gerenciamento integrado do lixo municipal deve começar pelo conhecimento de todas as caracte-

terísticas deste, pois vários fatores influenciam neste aspecto, tais como:

- número de habitantes do município;
- poder aquisitivo da população;
- condições climáticas;
- hábitos e costumes da população;
- nível educacional.

A influência dos fatores citados é melhor expressa pela quantidade de lixo gerada, pela sua composição física e parâmetros físico-químicos, todos indispensáveis ao correto prognóstico de cenários futuros (Quadro 3).

Os fatores de geração consistem, basicamente, na taxa de geração por habitante e no nível de atendimento dos serviços públicos do município.

A composição física de lixo é obtida pela determinação do percentual de seus componentes mais comuns, tais como vidro, plástico, metais, etc.

Parâmetros físicos são expressos por características como umidade, densidade e poder calorífico, enquanto os parâmetros químicos, pelos teores dos elementos químicos (carbono, enxofre, nitrogênio, potássio e fósforo) presentes nos resíduos.

Quadro 3 – Informações necessárias ao planejamento do gerenciamento do lixo municipal

Parâmetro	Descrição	Importância
Taxa de geração por habitante (kg/habitante.dia)	Quantidade de lixo gerada por habitante num período de tempo especificado; refere-se aos volumes efetivamente coletados e à população atendida.	Fundamental para o planejamento de todo o sistema de gerenciamento do lixo, principalmente no dimensionamento de instalações e equipamentos.
Composição física	Refere-se às porcentagens das várias frações do lixo, tais como papel, papelão, madeira, trapo, couro, plástico duro, plástico mole, matéria orgânica, metal ferroso, metal não-ferroso, vidro, borracha e outros.	Ponto de partida para estudos de aproveitamento das diversas frações e para a compostagem.
Densidade aparente	Relação entre a massa e o volume do lixo; é calculada para as diversas fases do gerenciamento do lixo.	Determina a capacidade volumétrica dos meios de coleta, transporte, tratamento e disposição final.
Umidade	Quantidade de água contida na massa de lixo	Influencia a escolha da tecnologia de tratamento e equipamentos de coleta. Tem influência notável sobre o poder calorífico, densidade e velocidade de decomposição biológica da massa de lixo.
Teor de materiais combustíveis e incombustíveis	Quantidade de materiais que se prestam à incineração e de materiais inertes.	Juntamente com a umidade, informa, de maneira aproximada, sobre as propriedades de combustibilidade dos resíduos.
Poder calorífico	É a quantidade de calor gerada pela combustão de 1 kg de lixo misto (e não somente dos materiais facilmente combustíveis).	Avaliação para instalações de incineração.
Composição química	Normalmente são analisados N, P, K, S, C, relação C/N, pH e sólidos voláteis.	Definição da forma mais adequada de tratamento (sobretudo compostagem) e disposição final. Vários outros elementos que atuam como inibidores/catalisadores nos diversos tipos de tratamento também podem ser analisados.
Teor de matéria orgânica	Quantidade de matéria orgânica contida no lixo. Inclui matéria orgânica não-putrescível (papel, papelão, etc.) e putrescível (verduras, alimentos, etc.)	Avaliação da utilização do processo de compostagem. Avaliação do estágio de estabilização do lixo aterrado.

ESTIMATIVA DA QUANTIDADE DE LIXO GERADA

Objetivo: prognosticar a quantidade de lixo gerada no município.

Aspectos a considerar;

A – população atual (habitantes);

B – geração *per capita* de lixo (kg/habitante.dia), obtida de processos de amostragem;

C_0 – nível de atendimento atual dos serviços de coleta de lixo (%);

D – taxa de crescimento populacional (%);

E – taxa de incremento da geração *per capita* de lixo (%);

C_t – nível de atendimento dos serviços de coleta de lixo 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)

5 CARACTERIZAÇÃO DO LIXO

Ao se considerar a caracterização do lixo domiciliar de um município, é importante lembrar que as suas características variam ao longo de seu percurso pelas unidades de gerenciamento do lixo, desde a geração até o destino final, bem como ao longo do tempo (Quadro 4).

Na fase inicial da caracterização, deve-se estudar as condições da zona urbana, visando identificar a metodologia adequada a ser aplicada. Além disso, deve ser muito bem definido o objetivo da caracterização, pois para cada necessidade, variam as análises a realizar e, conseqüentemente, a metodologia de amostragem.

5.1 Levantamento Preliminar de Dados

Essa fase do trabalho é importante para a definição do número total de amostras, onde e como coletá-las.

Inicialmente, são pesquisados dados referentes ao sistema de limpeza pública, tais como número de setores de coleta, frequência de coleta, características dos veículos coletores (tipo, número, capacidade, etc.), distância aos locais de tratamento e disposição final e quantidade de resíduos gerada.

Quando torna-se onerosa a amostragem em todos os setores de coleta existentes, o que se faz é agrupá-los (utilizando-se fatores como características das edificações, densidade populacional, poder

aquisitivo, costumes da população e tipo de acondicionamento dos resíduos), amparada por verificações *in loco*. Como o universo de amostragem é todo o resíduo gerado no município, o procedimento descrito no parágrafo anterior acaba por restringir o espaço amostral original. Esta deficiência deve ser corrigida, com a adoção de controle estatístico, para garantir a representatividade da amostra.

Quadro 4 - Caracterização gravimétrica dos resíduos sólidos urbanos (em mil toneladas)

Tipo de material	Média total
Domiciliar	10,5
Feiras	0,3
Limpeza	1,14
Saneamento	3
R.Constr.Civil	4,3
Volumosos	0,62
Poda	0,14
R.Serv.Saúde	0,1
Subtotal	20,1/dia

Fonte: Plano de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos da Cidade de São Paulo, 2012⁵

Os aspectos de sazonalidade e climáticos, influências regionais e temporais (como flutuações na economia) também devem ser considerados, pois interferem na composição física dos resíduos e, portanto, na representatividade da amostra. É aconselhável que as análises sejam executadas sistematicamente.

Finalmente, o objetivo da análise é o fator que determina o ponto do processo em que a amostra deverá ser tomada. Assim, por exemplo, caso a amostragem seja para dimensionamento de frota, deverá ser executada como o lixo se apresenta para a coleta, em suas condições naturais. Caso a amostragem vise a obtenção do parâmetro físico poder calorífico, a amostra poderá ser coletada após a chegada dos caminhões ao aterro sanitário.

5.2 Amostragem e Preparação da Amostra

Após definidos o número de amostras e os pontos de amostragem, passa-se à fase de amostragem propriamente dita.

MATERIAIS UTILIZADOS PARA COLETA E PREPARAÇÃO DE AMOSTRAS

- materiais de segurança (capacetes, óculos, luvas, botas, máscaras), para proteção dos trabalhadores;
- lonas, para confinamento (superior e inferior) dos resíduos, impedindo perdas de material e contaminação das amostras;
- enxadas, garfos, gadanhos e facões, empregados para rompimento dos receptáculos, para separar e revolver os materiais, e formar montes;
- mesas de madeira, servindo de base para o retalhamento e picagem fina dos resíduos;
- facões, machadinhas, tesouras e espátulas para retalhar e picar finamente os resíduos;
- sacos plásticos, para acondicionar e transportar as amostras;
- balanças, com capacidades de 20 e 200 kg;
- tambores e pás, para coleta de amostras.

O objetivo da amostragem é a obtenção de uma amostra representativa, ou seja, a coleta de uma parcela do resíduo a ser estudado que, quando analisada, apresente as mesmas características e propriedades de sua massa total.

A CETESB⁶ recomenda dois procedimentos de amostragem, mostrados nas Figuras 1 e 2, de acordo com as análises a serem efetuadas. Em tais procedimentos, utiliza-se o quarteamento, 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 consistir uma nova amostra, descartando-se os dois restantes. As partes não-descartadas são novamente misturadas e o processo de quarteamento é repetido até que se obtenha o volume final desejado, tomando-se o cuidado de selecionar quartis em posição oposta aos tomados anteriormente.

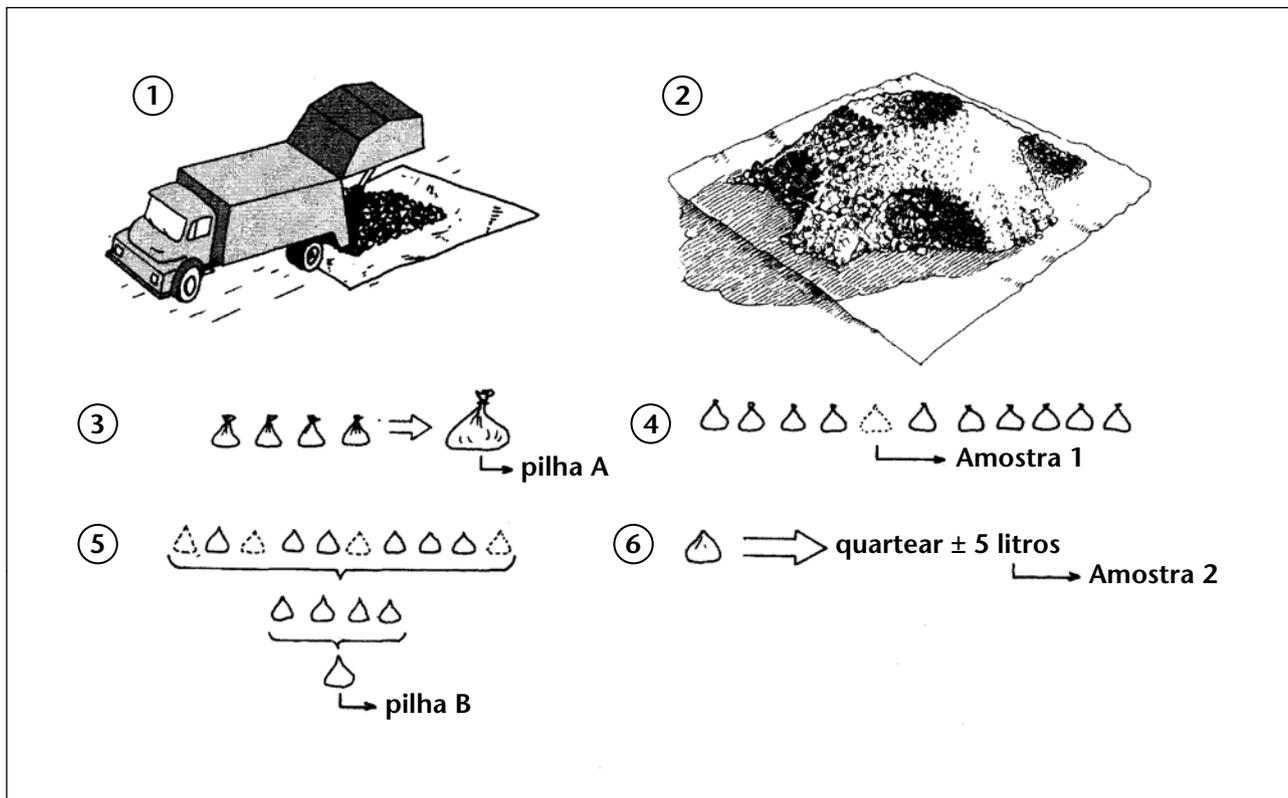
5.2.1 Procedimentos para coleta de amostras para análise da composição química e parâmetros físico-químicos

1) descarregar o caminhão ou caminhões no local previamente escolhido (pátio pavimentado ou coberto por lona);

2) coletar, na pilha resultante da descarga, quatro amostras de 100 litros cada (utilizar tambores), três na base e laterais, e uma no topo da pilha inicial. 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 lixo seja pequena (menos que 1,5 t), recomenda-se que todo o material seja utilizado como amostra;

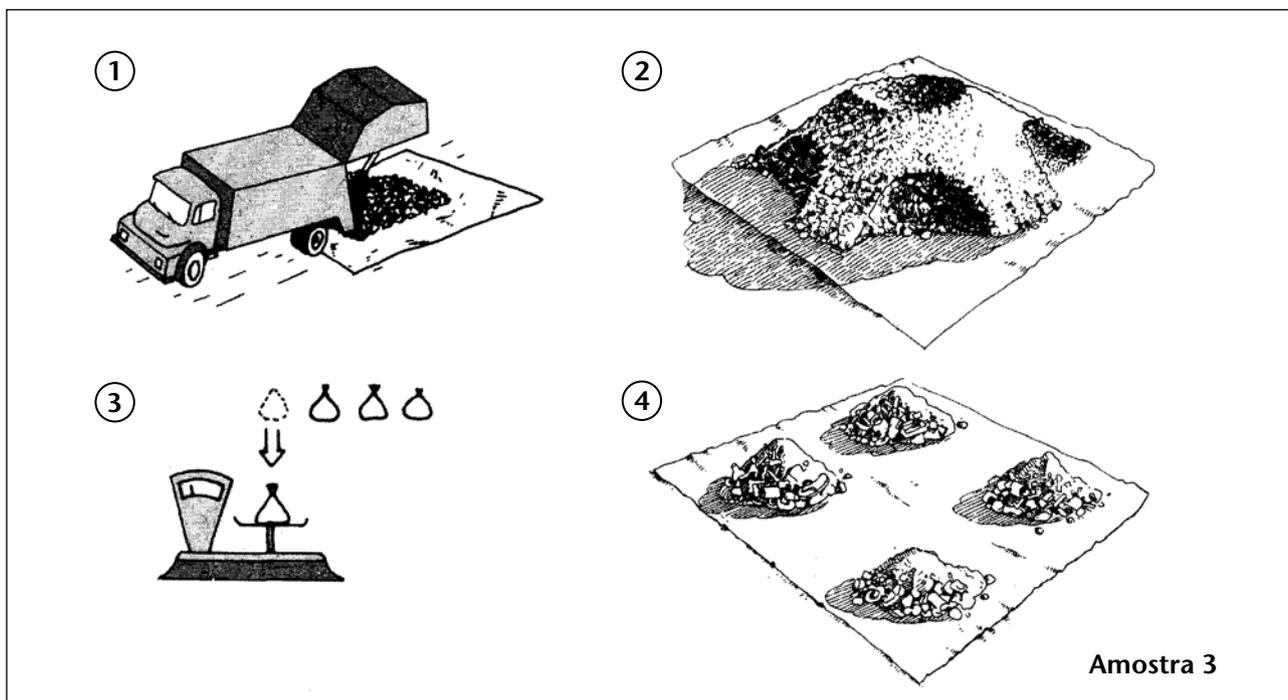
3) compor uma “pilha A” com o material amostrado, misturando e homogeneizando-o o máximo possível;

4) formar onze pilhas secundárias, coletando-se porções de locais os mais variados possíveis da pilha A. Rapidamente, retalhar (ao abrigo do sol, chuva, vento e temperatura excessiva) os resíduos de uma pilha escolhida de forma aleatória, descartando-se os materiais rígidos, e, após homogeneização, coletar e acondicionar a **Amostra 1** (± 5 litros) em saco plástico, fechar hermeticamente, identificar e enviar para análise da umidade;



Fonte: CETESB⁶

Figura 1 – Amostragem para análise da composição química e parâmetros físico-químicos



Fonte: CETESB⁶

Figura 2 – Amostragem para análise da composição física

5) 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 2 cm; somente ao final deste procedimento formar a pilha B, reunindo os resíduos retalhados. Homogeneizar;

6) quarterar a pilha B até que se obtenha ± 5 litros, formando a **Amostra 2**, a ser embalada, identificada e enviada para análise da composição química e parâmetros físico-químicos.

5.2.2 Procedimentos para coleta de amostras para análise da composição física

1) descarregar o caminhão ou caminhões no local previamente escolhido (pátio pavimentado ou coberto por lona);

2) coletar quatro amostras de 100 litros cada (utilizar tambores), três na base e laterais 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 lixo seja pequena (menos que 1,5 t), recomenda-se que todo o material seja utilizado como amostra;

3) pesar os resíduos coletados;

4) dispor os resíduos coletados sobre uma lona. Este material constitui a **Amostra 3**, a ser utilizada para as análises da composição física dos resíduos.

• Determinações

Neste item são descritas somente as metodologias de simples aplicação, facilmente executadas por técnicos das próprias prefeituras interessadas, quando da caracterização do seu lixo. Os demais parâmetros, tais como a determinação do poder calorífico e a determinação de elementos químicos específicos, devem ser analisados em laboratórios especializados e, portanto, não serão aqui discutidos.

- *Teor de umidade e de material seco*

O teor de umidade e o teor de material seco do lixo serão obtidos pela análise da Amostra 1 (Figura 1).

Após pesagem da amostra, secá-la em estufa, entre 100 e 103°C, até que o peso constante seja determinado. A umidade e o material seco são determinados com as seguintes equações:

$$\text{Umidade (\%)} = \frac{a - b}{a} \times 100$$

$$\text{Material seco (\%)} = \frac{b}{a} \times 100$$

sendo:

a = peso da amostra antes da secagem (kg);

b = peso da amostra após a secagem (kg).

- *Densidade aparente*

A densidade aparente dos resíduos será obtida pela análise da Amostra 2 (Figura 1), portanto, ainda não submetida à secagem.

Encher um recipiente de volume conhecido com a amostra anteriormente preparada e pesar o material.

A densidade pode então ser calculada:

$$\text{Densidade aparente (kg/m}^3\text{)} = \frac{\text{peso da amostra (kg)}}{\text{volume do recipiente (m}^3\text{)}}$$

- *Composição física do lixo*

A composição física do lixo será obtida pela análise da Amostra 3 (Figura 2), mediante a triagem, separando-se os materiais nas classes indicadas no Quadro 5.

Quadro 5 – Planilha para determinação da composição física do lixo municipal

Componente	Peso (kg)	Porcentagem (%)
Borracha		
Couro		
Madeira		
Matéria orgânica		
Metais ferrosos		
Metais não-ferrosos		
Papel		
Papelão		
Plástico duro		
Plástico-filme		
Trapos		
Vidro		
Outros materiais		

Após a separação, pesa-se cada classe obtida e calculam-se as porcentagens individuais. Por exemplo:

$$\text{Papel (\%)} = \frac{\text{peso da fração papel (kg)} \times 100}{\text{peso total da amostra (kg)}}$$

Com os dados coletados, pode-se ainda estimar os percentuais de materiais putrescíveis, recicláveis e combustíveis presentes no lixo municipal, bastando para isso somar-se as porcentagens individuais dos vários componentes, de acordo com as informações contidas no Quadro 6.

Quadro 6 – Componentes putrescíveis, recicláveis e combustíveis do lixo municipal

Componente	Putrescível	Reciclável	Combustível
Borracha		X	X
Couro	X		X
Madeira	X	X	X
Matéria orgânica	X	X	
Metais ferrosos		X	
Metais não-ferrosos		X	
Papel	X	X	X
Papelão	X	X	X
Plástico duro		X	X
Plástico-filme		X	X
Trapos		X	X
Vidro		X	
Outros materiais			

A título de ilustração da composição do lixo municipal, as Tabelas 1 e 2 mostram a composição física média e as formas de gerenciamento do lixo municipal em algumas regiões do mundo.

Nas Figuras 3 e 4 são mostrados dados de composição física média do lixo municipal em cidades brasileiras (sistema de coleta tradicional), enquanto que a Figura 4 ilustra a composição média de materiais recicláveis recuperados em sistemas de coleta seletiva no País.

6 COMPONENTES POTENCIALMENTE PERIGOSOS NO LIXO DOMICILIAR

Qualquer material descartado que possa pôr em risco a saúde do homem ou o meio ambiente (Quadro 1), é considerado perigoso.

No lixo municipal são vários os produtos contendo substâncias que conferem características de inflamabilidade, corrosividade, oxirredução ou toxicidade (Quadro 7).

Quadro 7 – Resíduos domésticos potencialmente perigosos

Tipo	Produto
Material para pintura	<ul style="list-style-type: none"> tintas; solventes; pigmentos; vernizes.
Materiais para jardinagem e animais	<ul style="list-style-type: none"> pesticidas; inseticidas; repelentes; herbicidas.
Materiais automotivos	<ul style="list-style-type: none"> óleos lubrificantes; fluidos de freio e transmissão; baterias.
Outros itens	<ul style="list-style-type: none"> pilhas; frascos de aerossóis em geral; lâmpadas fluorescentes.

Fonte: GOMES & OGURA (1993)

O motivo de certos tipos de frascos de aerossóis serem considerados perigosos são os restos de substâncias químicas perigosas que alguns produtos contêm, quando descartados. Com o seu rompimento, tais substâncias são liberadas e podem contaminar o meio ambiente, atingindo as águas, superficiais e/ou subterrâneas, ou migrando pelo ar.

Tabela 1 - Composição dos Resíduos Sólidos (em porcentagem)

Região	Orgânicos	Papéis	Plásticos	Vidros	Metais	Outros
África Centro-Meridional	57	9	13	4	4	13
Ásia Oriental e Pacífico	62	10	13	3	2	10
Europa e Ásia Central	47	14	8	7	5	19
América Latina e Caribe	54	16	12	4	2	12
Oriente Médio e África Setentrional	61	14	9	3	3	10
OCDE (Europa Ocidental, América do Norte, Oceania, Japão/Korea)*	27	32	11	7	6	17
Ásia Meridional	50	4	7	1	1	37
Global	46	17	10	5	4	18

* OCDE (Organização de Cooperação e de Desenvolvimento Econômico, 29 países mais desenvolvidos)

Fonte: Banco Mundial, 2012. "What a Waste: A Global Review of Solid Waste Management".⁸

Tabela 2 - Dados de Geração de Resíduos Sólidos Municipais por Regiões do Globo

Região	Média de geração <i>per capita</i>	Total toneladas por dia	Fração de geração
África Centro-Meridional	0,65	169.119	5%
Ásia Oriental e Pacífico	0,95	738.958	21%
Europa e Ásia Central	1,1	254.389	7%
América Latina e Caribe	1,1	437.545	12%
Oriente Médio e África Setentrional	1,1	173.545	6%
OCDE (Europa Ocidental, América do Norte, Oceania, Japão/Korea)*	2,2	1.566.286	44%
Ásia Meridional	0,45	192.410	5%

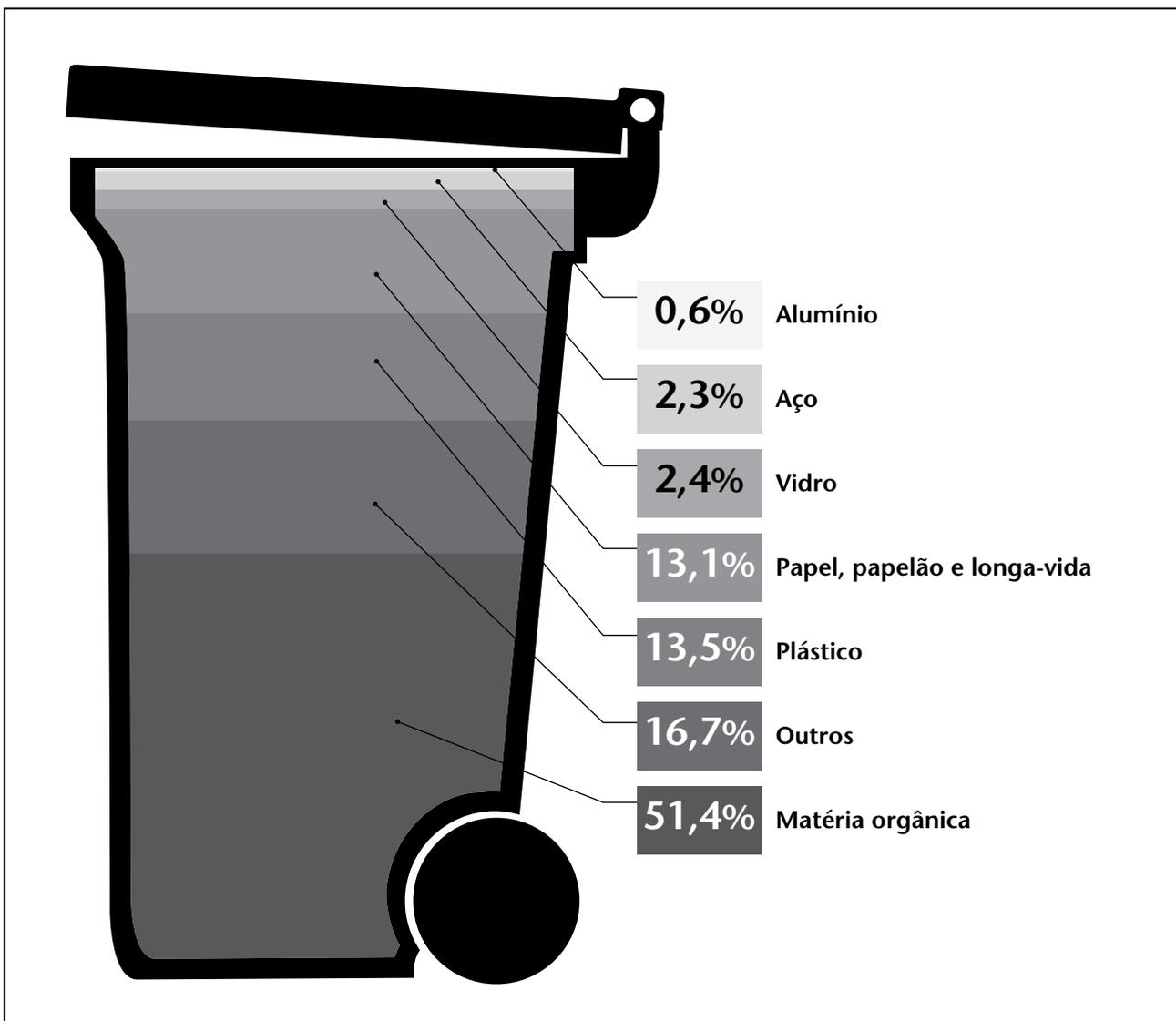
* OCDE (Organização de Cooperação e de Desenvolvimento Econômico, 29 países mais desenvolvidos)

Fonte: Banco Mundial, 2012. "What a Waste: A Global Review of Solid Waste Management".⁸

Tabela 3 – Disposição Final (milhões de toneladas/ano)

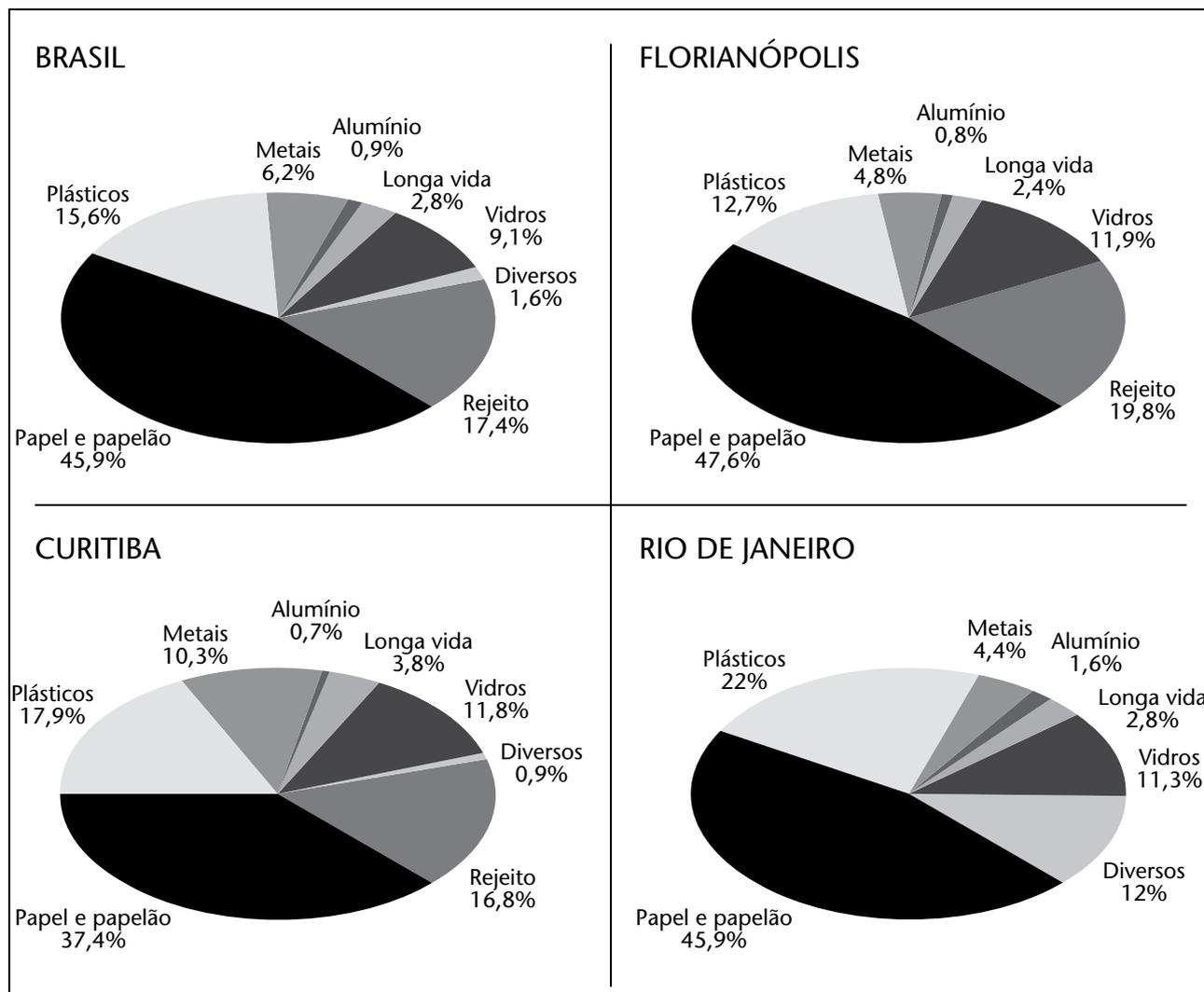
Cidade	Lixão	Aterro	Compostagem	Reciclagem	Incineração	Outras
Países de Alta Renda (Desenvolvidos)	0,05	250	66	129	122	21
Países de Baixa Renda (Em desenvolvimento)	0,47	2,2	0,05	0,02	0,05	0,97

Fonte: Banco Mundial, 2012. "What a Waste: A Global Review of Solid Waste Management".⁸



Fonte: IPEA, 2010 in CEMPRE, 2014 "Guia da Coleta Seletiva de Lixo"

Figura 3 – Composição do Lixo Domiciliar no Brasil (% peso).



Fonte: Cempre - Pesquisa Ciclossoft 2014¹⁰

Figura 4 – Composição da coleta seletiva

As substâncias perigosas no lixo domiciliar são consideradas um grande problema ambiental a ser enfrentado pelas municipalidades no curto e médio prazos.

BIBLIOGRAFIA

1. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. Resíduos Sólidos - Classificação; NBR 1004:2004.
2. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. Lixiviação de Resíduos - Procedimento; NBR 1005:2004.
3. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. Solubilização de resíduos - Procedimento; NBR 1006:2004.
4. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. Amostragem de resíduos - Procedimento; NBR 1007:2004.

L I X O M U N I C I P A L
M A N U A L D E G E R E N C I A M E N T O I N T E G R A D O

5. Plano de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos da Cidade de São Paulo, 2012.
6. CETESB. 1990. Resíduos sólidos urbanos e limpeza pública. São Paulo: Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental.
7. GOMES, J. A.; OGURA, S. K. 1993. Considerações sobre os componentes potencialmente perigosos do lixo domiciliar. (Trabalho apresentado no Seminário “Componentes Potencialmente Perigosos Presentes no Lixo Doméstico”, 13 de abril de 1993. São Paulo. IPT).
8. Banco Mundial, 2012. “What a Waste: A Global Review of Solid Waste Management”.
9. TAVARES, R. C. Composição gravimétrica: uma ferramenta de planejamento e gerenciamento do resíduo urbano de Curitiba e região metropolitana. Dissertação de mestrado. IEP LAC TEC. Curitiba, 2006.
10. CEMPRE. Pesquisa Ciclosoft, 2014 <http://cempre.org.br/ciclosoft/id/2>.

CAPÍTULO III

**ACONDICIONAMENTO
E COLETA DO LIXO**

LIXO MUNICIPAL
MANUAL DE GERENCIAMENTO INTEGRADO

1 INTRODUÇÃO

O acondicionamento adequado do lixo, o sistema de coleta e transporte planejado e os diversos serviços de limpeza complementares devem ser feitos com qualidade e produtividade, a mínimo custo.

Para o acondicionamento adequado do lixo deve-se ter embalagens que apresentem bom desempenho para que atendam a requisitos de acondicionamento local e estático do lixo. Os coletores estacionários e de varrição de rua devem ter seu desempenho mecânico verificado conforme a vida útil desejada ou com base em normas internacionais que levem em consideração a reutilização.¹

O planejamento do transporte se faz inicialmente rota por rota. É necessário determinar as condições de operação e os custos para a situação atual, de forma a se ter uma referência básica de comparação ao analisar posteriormente outras alternativas. É necessário conhecer os seguintes elementos para o planejamento do transporte: fluxos nas diversas ligações da rede; nível de serviço atual; nível de serviço desejado; características ou parâmetros sobre a carga; e tipos de equipamento disponíveis e suas características (capacidade, fabricante, etc.). E no que se refere às características ou parâmetros de carga, os principais elementos a considerar são: peso e volume; densidade média; dimensões da carga; dimensões do veículo; nível de periculosidade; estado físico e compatibilidade das cargas (por exemplo, a coleta do lixo de serviços de saúde deve ser separada do lixo domiciliar).

Para o planejamento do serviço de coleta e transporte, é importante também se definir os custos. Estes podem ser divididos em diretos e indiretos. Os custos diretos abrangem: depreciação da frota; remuneração do capital; salário e gratificações de motoristas e ajudantes; cobertura de risco; combustível; lubrificação; pneus e licenciamento. Os custos indiretos são as despesas que não se relacionam diretamente com produção/operação, como a contabilidade da empresa, a administração de pessoal e geral. Cerca de 85% do custo operacional do transporte rodoviário de carga corresponde aos custos diretos; os custos indiretos respondem pelos restantes 15%.¹

As dificuldades de um gerenciamento eficiente deste sistema podem levar a custos elevados. O município de São Paulo, por exemplo, gastou em 2012 mais de 93 milhões de reais (por mês) para a coleta, transporte, tratamento e destinação final dos resí-

duos domiciliares, executados por empresas particulares sob regime de concessão. Foram gastos mais 84 milhões de reais (por mês) com varrição de logradouros públicos, coleta e transporte de grandes objetos, limpeza de monumentos e coleta manual e mecanizada de entulhos.²

Finalmente, as questões ambientais devem ser consideradas para o planejamento do sistema de coleta dos resíduos sólidos urbanos, já que a tendência mundial é procurar estimular programas e procedimentos que visem atender a metas, como desenvolvimento econômico, uso adequado dos recursos, melhoria social e bem-estar das comunidades.

Os serviços de limpeza municipal abrangem os serviços de limpeza propriamente dita, tema deste Capítulo, e também os serviços de processamento e os de disposição final do lixo (Capítulos IV e V, respectivamente).

Em geral, os serviços de limpeza absorvem de 5 até pouco mais de 15% dos recursos de um orçamento municipal, dos quais cerca de 40 a 60% são destinados à coleta e ao transporte do lixo.

Um bom gerenciamento desses serviços, que estão entre os de maior visibilidade, apresenta boa aceitação da administração municipal por parte da população. Adicionalmente, a sua otimização leva a uma economia significativa dos recursos públicos.

A coleta do lixo e o seu transporte para áreas de tratamento ou destinação final são ações do serviço público municipal, de grande visibilidade para a população, que impedem o desenvolvimento de vetores transmissores de doenças que encontram alimento e abrigo no lixo.

Os resíduos sólidos precisam ser transportados mecanicamente, do ponto de geração ao destino final. Caracterizam-se pelo envolvimento dos cidadãos, que devem acondicioná-los adequadamente e apresentá-los em dias, locais e horários preestabelecidos.

ATENÇÃO!

Para que este envolvimento ocorra de forma satisfatória, o poder público deve garantir:

- a universalidade do serviço prestado, ou seja, todo cidadão deve ser servido pela coleta de lixo domiciliar;
- a regularidade da coleta, isto é, os veículos coletores devem passar regularmente nos mesmos locais, dias e horários.

A norma NBR 12980³ define os diferentes tipos de serviço de coleta de lixo:

- coleta domiciliar (ou convencional), que consiste na coleta dos resíduos gerados em residências, estabelecimentos comerciais, industriais, públicos e de prestação de serviços, cujos volumes e características sejam compatíveis com a legislação municipal vigente;
- coleta de resíduos provenientes de varrição de ruas, praças, calçadas, demais equipamentos públicos;
- coleta de feiras e praias;
- coleta de resíduos de serviços de saúde, englobando hospitais, ambulatórios, postos de saúde, laboratórios, farmácias, clínicas veterinárias, etc.

A coleta regular consiste na coleta de resíduos sólidos executada em intervalos determinados. A coleta especial contempla os resíduos não recolhidos pela coleta regular, tais como entulhos, animais mortos e podas de jardins. Pode ser regular ou programada para onde e quando houver resíduos a serem removidos.

A coleta seletiva tem por objetivo recolher os resíduos segregados na origem. Essa modalidade de coleta está ligada à Reciclagem e é discutida com detalhes no Capítulo IV – Processamento do Lixo.

A coleta particular é obrigatoriamente de responsabilidade do gerador, em decorrência do tipo de resíduo ou da quantidade ser superior à prevista em legislação municipal.

Indústrias, supermercados, shopping centers, construtoras e empreiteiras, entre outros, devem providenciar a coleta dos seus resíduos em função do volume gerado. Hospitais, ambulatórios, centros de saúde e farmácias, entre outros, devem ter coleta particular em função do tipo de lixo.

O papel de fiscalização por parte da Prefeitura é fundamental.

Para que o sistema de coleta e transporte funcione de maneira otimizada, é necessário um fluxo permanente de informações que subsidiem seu planejamento e gerenciamento.

2 RECIPIENTES DO LIXO

2.1 Responsabilidades

O lixo é tratado e disposto em locais afastados do seu ponto de geração. O envio do lixo a essas áreas envolve uma fase interna, sob a responsabilidade do gerador (residência, estabelecimento comercial, etc.) e que compreende coleta interna, acondicionamento e armazenamento. A fase externa abrange os chamados serviços de limpeza. Essa fase é de responsabilidade das administrações municipais.

Na etapa que precede a coleta externa, os resíduos devem ser colocados em locais e recipientes adequados para serem confinados, evitando:

- acidentes (lixo infectante);
- proliferação de insetos (moscas, ratos e baratas) e animais indesejáveis e perigosos;
- impacto visual e olfativo;
- heterogeneidade (no caso de haver coleta seletiva).

Embora o acondicionamento seja de responsabilidade do gerador, a administração municipal deve exercer funções de regulamentação, educação e fiscalização, inclusive no caso dos estabelecimentos de saúde, visando assegurar condições sanitárias e operacionais adequadas.

A forma de acondicionamento do lixo é determinada pela quantidade, composição e movimentação (tipo de coleta e frequência).

O lixo, para ser coletado, deve ser colocado em recipientes que permitam o manuseio de uma quantidade acumulada. Vamos tratar aqui dos recipientes usados para lixo, excluindo-se os de lixo industrial, tóxico ou radioativo, e outros de caráter especial, que exigem considerações à parte.

2.2 Recipientes Primários

Os recipientes primários, que ficam em contato direto com o lixo, podem ser sacos plásticos ou recipientes rígidos.

2.2.1 Sacos plásticos

Os sacos plásticos são empregados, de forma geral, no lixo doméstico, no lixo institucional, no lixo urbano e nos resíduos de serviços de saúde. Enquanto estão recebendo o lixo, devem estar contidos e posicionados em recipientes rígidos apropriados que permitam a retirada do saco ou seu esvaziamento para um recipiente maior. No ambiente doméstico são usados recipientes rígidos, em geral plásticos ou metálicos, que recebem pequenos sacos em cada ponto de geração de resíduos: cozinha, banheiro, escritório, por exemplo. Estes pequenos sacos (ou sacolas reutilizadas – a reutilização deve ser sempre estimulada) são depois colocados em sacos maiores, próprios para o serviço de coleta. Em algumas cidades pode ser feita uma coleta seletiva, sendo então necessária a separação em três sacos: a) o de resíduos alimentares, destinados à compostagem; b) o de lixo sanitário, de banheiro, cujos sacos podem ser colocados em saco maior juntos com os de varrição doméstica e dejetos de animais, destinados a aterros sanitários ou lixões; c) o de objetos (principalmente papéis, embalagens e pilhas/baterias, que podem ser reciclados ou tratados), destinados a uma operação de triagem dos materiais.

Os sacos plásticos de lixo urbano são os que ficam em coletores estacionários pequenos e os de varrição de ruas, geralmente colocados em coletores móveis. Mais adiante serão analisados os coletores urbanos.

Os sacos de lixo estão classificados e especificados pelas normas IPT-NEA 59⁴ e NBR 9191⁵. As normas estabelecem duas classificações:

- a) *quanto à densidade relativa específica aparente do lixo*: para lixo normal (densidade entre 0,2 e 0,3) e lixo pesado (densidade superior a 0,3);
- b) *quanto ao tipo de lixo*: o comum e o de serviços de saúde.

As normas estabelecem a massa máxima admissível do conteúdo para cada modelo de saco. Se um saco para lixo pesado tiver conteúdo com densidade relativa específica aparente superior a 0,3, por exemplo, ele não poderá ser totalmente preenchido, pois isto resultará em um peso excessivo.

Algumas prefeituras estabelecem em 50 kg a massa máxima que o trabalhador pode carregar ^{6,7}, enquanto normas trabalhistas, como da Organização Internacional do Trabalho (OIT), a limitam em 40 kg. De qualquer forma, essa massa é excepcional. O trabalho do coletor deve ficar normalmente limitado ao manuseio de 20 kg.

Na coleta domiciliar, os moradores devem ser orientados quanto ao horário da coleta e também para não colocarem o lixo na rua em volumes de massa superior a 20 kg ou em um grande número de pequenos sacos ou sacolas, pois isso dificulta o manuseio. Quando diversas sacolas pequenas são usadas, devem estar amarradas ou colocadas em um saco maior, para manuseio único.

As normas para os sacos estabelecem as dimensões, a capacidade volumétrica, a resistência ao levantamento e à queda, a resistência à perfuração estática, a estanqueidade a líquidos acumulados no fundo e a não transparência. Não há necessidade, para efeito de especificação, de determinar características que não tenham relação com o desempenho do saco, como a espessura ou a massa.

Entretanto, as exigências de desempenho são naturalmente maiores para os sacos destinados a resíduos de serviços de saúde. Estes devem ser brancos e receber uma figura (impressa ou colada), normalizada pela NBR 7500⁸, para material infectante. Os sacos para outros usos podem ser pretos ou de qualquer outra cor que não seja o branco.

A qualidade dos sacos para lixo pode ser assegurada se as normas que a regem forem de boa qualidade. Pode-se dizer que hoje, após diversas revisões, tais normas são razoáveis. O problema, agora, é fazer com que sejam cumpridas. Espera-se que, ao menos para os sacos de resíduos de serviços de saúde, as normas venham a ser obrigatórias. O controle, hoje, cabe ao comprador. Para o comprador individual é impossível fazer testes que não sejam os da própria prática – e esses testes poderiam levar a uma troca de marcas de preferência do consumidor, se as marcas forem reconhecidas. Para o comprador institucional, como prefeituras e hospitais, é viável um controle da qualidade para verificação da conformidade às normas, por meio de testes de amostras representativas de lotes, que podem ser analisadas por laboratórios capacitados e neutros.

COMO ESPECIFICAR O SACO PARA LIXO

Uma empresa, instituição, hospital ou prefeitura podem seguir o seguinte exemplo (em negrito) de especificação para compra de sacos para lixo:

- **Sacos classe I, tipo E** (classe I significa que o saco é para resíduos não-infectantes; tipo E indica que o saco é para conteúdo de até 100 litros, limitado em 20 kg).
- **Cor: preta** (a cor não é obrigatória, exceto quando existe um programa de coleta seletiva em que esta seja definidora do conteúdo).
- **Quantidade: 50000 unidades.**
- **Forma de entrega:** em pacotes de 100 unidades.
- **De acordo com a NBR 9191 – 1999** (a conformidade do lote recebido com a norma em referência será verificada em laboratório independente).

(Observação: não especificar gramatura e nem espessura do material)

2.2.2 Recipientes primários rígidos

Em alguns lugares, o lixo é recolhido diretamente em recipientes rígidos, tais como latas, tambores, cestos, sem o uso do saco plástico. Na transferência para o veículo coletor, com esses recipientes colocados na rua, há uma dificuldade de movimentação e esvaziamento, que atrasa o processo de coleta. Os recipientes podem ser danificados ou perdidos. Exigem trabalhos de lavagem e manutenção. Dadas tais dificuldades, ao menos nas áreas mais urbanizadas, há a tendência de que os recipientes rígidos não sejam usados na entrega do lixo ao serviço de coleta, sendo preferíveis os sacos plásticos; em diversas cidades, os sacos são até mesmo obrigatórios.

Recipientes primários rígidos são usados para resíduos de serviços de saúde e são de dois tipos: para resíduos perfurantes e para resíduos não-perfurantes. Estes devem ser fabricados com material incinerável (polietileno rígido, papelão ondulado, etc.) e possuir cor dominante amarela com simbologia internacional para material infectante. Devem possuir, também, resistência à perfuração, à compressão, ao vazamento e ao levantamento pelas alças.

Os de resíduos perfurantes devem ser resistentes à perfuração por agulhas ou lâminas de corte. Estão especificados pelas normas IPT-NEA 55⁹ e NBR 13853¹⁰. Devem ser colocados em sacos plásticos brancos na entrega ao serviço de coleta.

Os de resíduos não-perfurantes estão normalizados pela IPT-NEA 73¹¹. Devem permitir controle, empilhamento e movimentação com mais segurança que os simples sacos plásticos. Não precisariam ser colocados em sacos plásticos para coleta, visto que são de volume compatível com o manuseio pelo coletor, além de terem alças que facilitam esse manuseio, o que exige uma atualização da norma NBR 12809¹², que mantém a obrigatoriedade do uso do saco externo.

Recomenda-se a aquisição destes recipientes mediante certificado de conformidade às normas.

2.3 Coletores Urbanos, Comunitários e Institucionais

2.3.1 Coletores pequenos e médios

A educação da população para promoção da limpeza pública é de grande importância, até mesmo para desenvolvimento de uma consciência de coletividade. Não surtirá efeito, entretanto, ou terá um efeito negativo, se não for acompanhada de meios que permitam essa limpeza, como os coletores adequadamente colocados nas ruas, praças, parques, praias. O costume de se jogar lixo pela janela dos carros pode ser combatido com a colocação de coletores e cartazes nos postos de abastecimento, por exemplo.

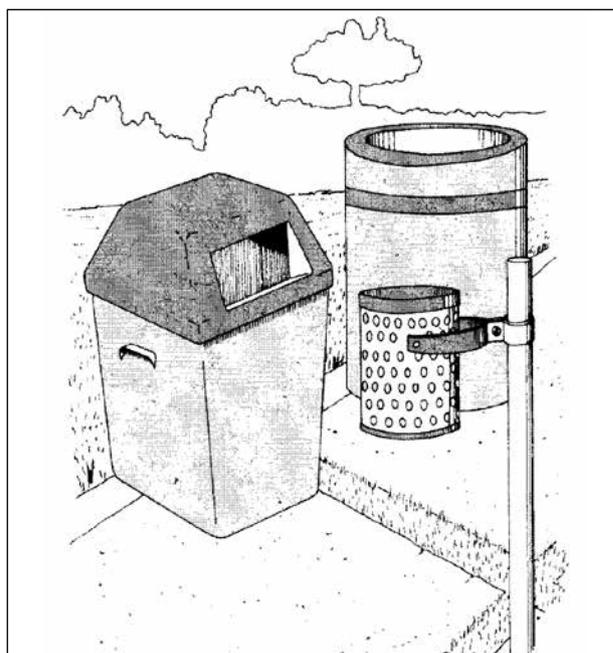


Figura 1 – Tipos de cestos estacionários

Os coletores pequenos e médios podem ser fixos ou móveis. Coletores pequenos devem ser colocados nas ruas, praças, praias, em posições e quantidades que facilitem seu uso. Podem ser constituídos de um simples tambor, preferivelmente com alças, ou feitos com um projeto elaborado, com tampa, sistema de basculamento ou de descarga, com qualidade estética e qualidade que pode ser verificada e normalizada.

Os coletores não podem permitir o vazamento de líquidos, mas devem ter drenos para lavagem.

O coletor pode ser esvaziado pela retirada do saco plástico que o reveste, com o lixo contido, ou por basculamento do lixo para um recipiente móvel maior.

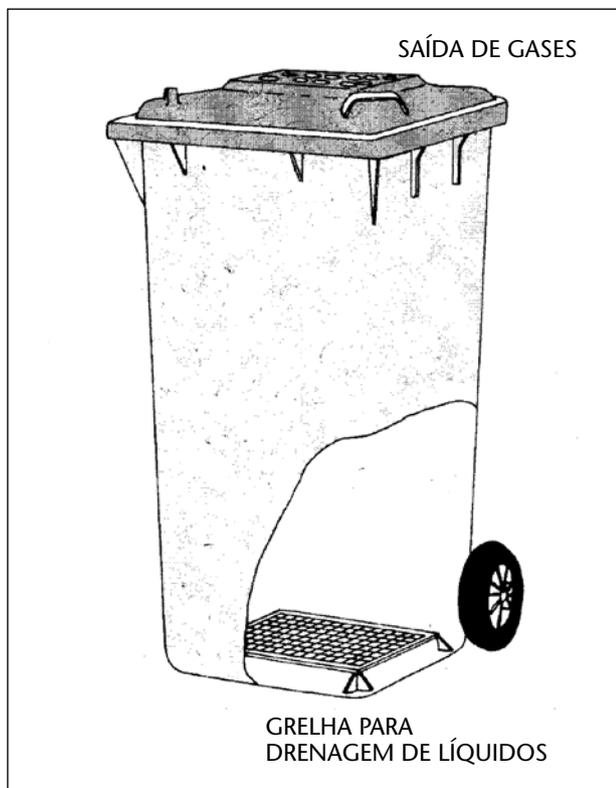


Figura 2 - Recipiente móvel basculante

Os tambores de 200 litros ou menores podem ser utilizados como recipientes para lixo. Para tanto, devem ser adaptados com alças de manuseio e tampa, impedindo a dispersão de odor e a entrada de animais. O tambor deve reter líquidos e ser de material resistente à corrosão, como aço pintado ou plástico.

Os recipientes podem ser vinculados a carrinhos (*Lutocar*), geralmente de duas rodas, destinados à

varrição de ruas e áreas públicas, podendo dispor de porta-vassouras e compartimento para conveniência do varredor.

Os coletores móveis de 80 a 390 litros são normalizados pelas normas BS-840^{13, 14, 15, 16, 17, 18} e pela norma Z245.30¹⁹, quanto a dimensões, desenho básico, requisitos de desempenho e testes.

2.3.2 Coletores grandes: caçambas

Coletores comunitários fixos são os que recebem o lixo de diversas unidades habitacionais (prédios, condomínios, favelas, etc.) e devem ficar próximos a um ponto de passagem do caminhão coletor. Devem também permitir a retirada manual dos sacos ou ser movimentáveis mecanicamente para descarga no caminhão. Geralmente, têm dimensões úteis superiores a 2 m³. Os tipos mais simples são apenas recipientes abertos, destinados a manter os sacos longe do chão, evitando que sejam atacados por animais. Não podem ter cantos ou saliências que possam perfurar os sacos. Devem ser facilmente laváveis, bem como o chão onde se situam. Os tipos mais elaborados, destinados à movimentação mecanizada, devem ter tampas ou aberturas de recebimento do lixo e tampa de descarga. Não podem ser feitos de material inflamável.

Cubículos de alvenaria, cobertos e fechados, com porta para a rua e porta interna, são freqüentemente usados em prédios e instituições (restaurantes, escolas, por exemplo) para a guarda dos sacos de lixo. O lixo de restaurantes, peixarias e açougues deve ser mantido em câmara fria até o momento da retirada pelo caminhão coletor.

Em conjuntos habitacionais situados em morros, em vias de difícil acesso, onde o caminhão coletor não pode chegar, devem ser usados coletores móveis, sobre duas rodas ou sobre padiola (duas barras paralelas que sustentam o coletor no centro e são levantadas por duas pessoas). Esses coletores são levados periodicamente para um coletor maior, situado onde o caminhão tenha acesso, ou diretamente para descarga no caminhão.

A implantação de recipientes coletores de grandes volumes em favelas ou outras áreas de difícil acesso para o veículo coletor pode se tornar um problema devido à deposição de entulhos, animais

mortos e outros resíduos incompatíveis com o sistema de coleta. O ateamento de fogo ao lixo contido por esses recipientes e a transformação do local em um pequeno lixão, com os resíduos sendo depositados ao seu redor, são problemas freqüentemente observados.

Os coletores maiores são chamados de “caçambas”. Tem sido usado também, inclusive em normas da ABNT, o termo “contêiner, mas esta terminologia deve ser evitada por conflitar com outras normas da ABNT, mais antigas, que estabelecem o termo “contêiner” apenas para o recipiente de carga normalizado pela ISO, e o termo “contentor” para outros recipientes de carga (*container*, em inglês, é qualquer recipiente, seja uma garrafa, um saco, uma caixa de papelão ou uma caçamba para lixo).

Os recipientes coletores de movimentação mecanizada têm projeto combinado com o do sistema de movimentação e de recolhimento pelo caminhão. A movimentação com basculamento exige que o coletor tenha duas pontas de eixo para acoplamento ao dispositivo de levantamento. Os que abrem pelo fundo são içados pelo topo e devem ter mecanismos de abertura do fundo acionados manualmente ou por içamento.

Certas caçambas são recolhidas pelo caminhão, que deixa no lugar outra caçamba vazia. Isto é usual para lixo industrial e entulho de obras civis.

As caçambas que devem ser levadas até o caminhão para descarga precisam ter rodas resistentes e devem trabalhar sobre pisos pavimentados. Caçambas basculantes de 800, 1200 e 1600 litros são normalizadas pelas NBR 13333 e 13334²⁰, quanto a dimensões básicas e desenho geral.

São usuais os coletores tipo *Brooks*, de 5 a 7 m³, que basculam por trás do veículo, e os tipo *Dempster*, de 3 a 4 m³, que descarregam por baixo.

Os coletores não podem ter tampas pesadas, de difícil manuseio. Estas não devem permitir a entrada de chuva e de animais. A tampa de descarga também não pode ser muito grande, de abertura difícil e perigosa. As de descarga são as mesmas de cobertura se o coletor for basculante. A Figura 4 mostra algumas possibilidades de *design* para diversos tipos que satisfazem tais requisitos.

2.3.3 Coletores para coleta seletiva

Há duas formas básicas de coleta seletiva: a separação por grupos (secos/úmidos) e a separação de materiais (coleta multi-seletiva).

Na separação de materiais, em Postos de Entrega Voluntária, pode-se dispor de coletores para: vidro branco e vidro colorido, papéis, plásticos, alumínio, latas de aço, pilhas elétricas. Cada um deles tem uma cor convencional: verde claro para vidro branco, verde escuro para vidro colorido, azul para papéis, vermelho para plásticos, amarelo para latas, laranja para pilhas.

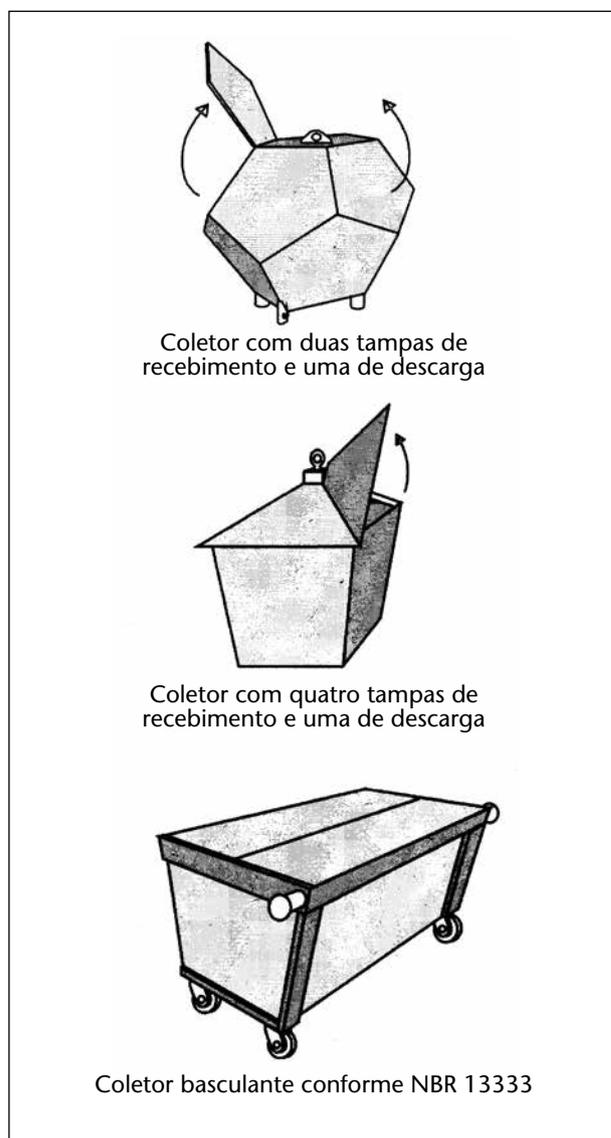


Figura 3 – Exemplos de coletores rígidos para grandes

Esta forma de coleta seletiva é de custo muito alto, devido à dificuldade de separação no transporte e por não eliminar a necessidade de uma triagem posterior. Por isso, a coleta por grupos vem sendo preferida.

Como foi visto anteriormente sobre os sacos para coleta seletiva, tem-se os seguintes grupos também para os coletores:

- a) o de resíduos alimentares, destinado à compostagem;
- b) o de lixo sanitário doméstico, incluindo varrição e dejetos de animais domésticos, destinado a aterros sanitários ou lixões;
- c) o de objetos, principalmente papéis e embalagens, que podem ser reciclados, incinerados ou receberem outro tratamento, destinado a uma operação de triagem dos materiais.

Os coletores devem ter tampas ou aberturas que impeçam a retirada do material colocado, além da tampa de descarga, só acionável pelo pessoal do caminhão coletor. Os catadores de material reciclável não devem ter nos recipientes coletores uma fonte de suprimento.

Um dos problemas da coleta é o do volume a ser armazenado. Por isso há coletores para latas, principalmente de alumínio, associados a compactadores. Têm sido experimentados compactores para garrafas de vidro, que as transformam em cacos, mas criam dificuldades de separação das cores, necessária para a reciclagem.

3 VEÍCULOS COLETORES

Basicamente, existem dois tipos de carrocerias montadas sobre chassi de veículos, descritos individualmente a seguir.

3.1 Carrocerias sem Compactador

Pela NBR 12980³, os veículos com carrocerias fechadas e metálicas, construídas em forma de caixa retangular, com tampas corrediças abauladas, são denominados Coletores Convencionais Tipo Prefeitura. Sua descarga se dá por basculamento. Um dos inconvenientes nesse tipo de equipamento é a altura

de borda na faixa de 1,80 m, o que exige grande esforço físico dos coletores para elevar o lixo e bascular os recipientes.

3.2 Carrocerias com Compactador

Os veículos com carrocerias fechadas, contendo dispositivos mecânicos ou hidráulicos que possibilitam a distribuição e compressão dos resíduos no interior da carroceria, são denominados, pela norma NBR 12980³, Coletores Compactadores.

O sistema de compactação pode ser contínuo ou intermitente. O sistema de carregamento pode ser traseiro, lateral ou frontal. Nesses veículos, os sistemas de descarga são feitos sem nenhum contato manual com a carga.

Mais recentemente surgiu o veículo compactador com mecanismo para basculamento de recipiente estacionário, que pode proporcionar maior eficiência na coleta, em particular em locais que apresentem grande concentração de resíduos gerados, tais como edifícios, condomínios habitacionais, etc. Além de agilizar a coleta, e conseqüentemente contribuir para a aumentar a produtividade dos veículos, tal recipiente evita acidentes no manuseio.

Os contentores estacionários já são utilizados na coleta domiciliar em diversos países e já começam a ser adotados também em diversas cidades brasileiras.

Há ainda o caminhão de carroceria aberta, com um pequeno guindaste móvel, que pode ser utilizado na remoção e no transporte de resíduos provenientes de poda de árvore e também na coleta de Postos de Entrega Voluntária (PEV). Um PEV consiste de um conjunto de quatro contentores de cores diferentes para a coleta seletiva, instalados em locais públicos e de fácil acesso.

3.3 Critérios para a Seleção dos Veículos

Conforme mencionado anteriormente, o veículo coletor pode ser de tração animal ou mecânica, com carroceria convencional ou com compactador.

A escolha por um destes está condicionada aos seguintes fatores:

• **Quantidade de resíduos**

Para cidades ou áreas urbanas com baixa concentração populacional, veículos sem compactador podem transportar por viagem até 15 m³ ou 3,7 t, considerando-se o peso específico médio do lixo solto de 250 kg/m³. É o sistema adotado em muitas localidades de menor porte, onde a coleta é realizada pelo próprio poder público e o veículo é aproveitado para outros serviços, além da própria coleta domiciliar. Neste caso, o percurso de coleta é limitado pela jornada de trabalho da tripulação e não pela capacidade do veículo.

• **Forma de acondicionamento do resíduo**

Caso o resíduo esteja acondicionado em recipiente, será necessário que este seja compatível com o sistema de basculamento do veículo, conforme ilustrado anteriormente.

• **Condições de acesso ao ponto de coleta**

Veículos como tratores agrícolas, motocicletas ou de tração animal são algumas alternativas para o acesso a áreas restritas aos veículos usuais. Ruas não pavimentadas, estreitas ou inexistentes, como ocorre em áreas com ocupação desordenada ou favelas, dificultam e até impedem o acesso de caminhões coletores para a coleta porta-a-porta.

A fim de evitar que a ausência de coleta leve os moradores dessas áreas a jogar o lixo em vielas, córregos ou taludes, uma alternativa pode ser a coleta comunitária. Os resíduos são coletados utilizando veículos pequenos e transportados para pontos predeterminados de armazenagem temporária, acessíveis aos veículos convencionais, que os removem para o seu destino final.

4 DIMENSIONAMENTO DA COLETA DOMICILIAR

O dimensionamento e a programação da coleta estão relacionados à estimativa dos recursos necessários (tipos de veículo e equipamento a serem utilizados, frota necessária, quantidade de pessoal) e à definição de como o serviço será executado (frequências, horários, roteiros, itinerários, pontos de destinação).

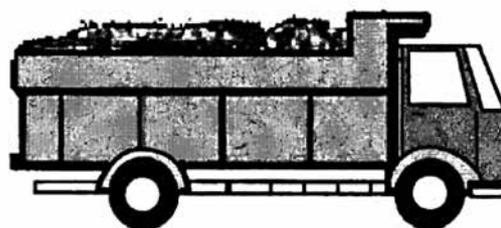


Figura 4a – Caminhão basculante utilizado no transporte de entulho

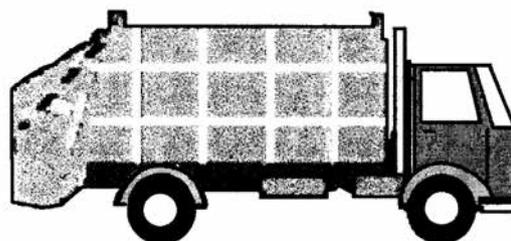


Figura 4b – Caminhão compactador para lixo domiciliar



Figura 4c – Caminhão compactador com dispositivo para basculamento de recipiente estacionário

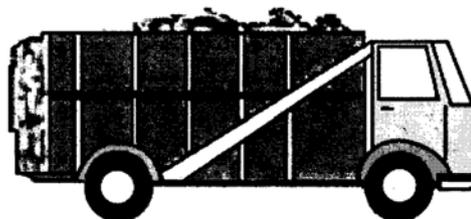


Figura 4d – Veículo poliguindaste para transporte de caçamba intercambiável

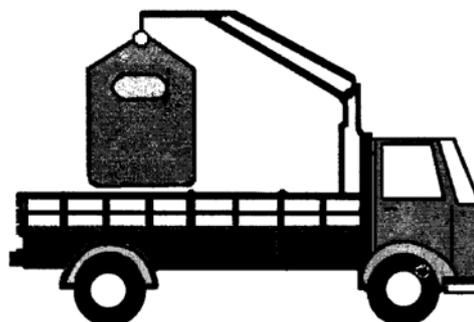


Figura 4e – Veículo com guindaste para coleta em postos de entrega voluntária ou coleta de podas



Figura 4f – Trator para coleta em locais de difícil acesso

A grande maioria dos municípios brasileiros já possui algum sistema de coleta e transporte do lixo domiciliar.

A tarefa de dimensionar e programar esses serviços pode ser necessária quando se planejam ampliações para áreas não atendidas, bem como quando se identifica a necessidade de reformular os serviços existentes.

A avaliação de desempenho operacional da coleta domiciliar, discutida a seguir, pode identificar a necessidade de revisão dos serviços existentes.

Em geral, quando os serviços de coleta domiciliar são contratados junto a empresas particulares, o poder público define seus requisitos básicos, tais como frequências e horários de coleta, locais de destinação final, etc., cabendo às empresas responsáveis pelos serviços sua programação e dimensionamento. Entretanto, em muitas localidades, especialmente as de menor porte, os serviços de limpeza pública, incluindo a coleta de lixo, são realizados pela própria Prefeitura.

É importante o envolvimento do poder público no dimensionamento e na programação dos serviços de coleta domiciliar, mesmo quando executados por particulares, visando assegurar que eles atendam aos padrões de desempenho e de nível de serviço julgados adequados e garantir a justa remuneração pelos serviços prestados.

O dimensionamento e a programação dos serviços de coleta domiciliar abrangem as seguintes etapas:

- estimativa do volume de lixo a ser coletado;
- definição das frequências de coleta;
- definição dos horários de coleta domiciliar;
- dimensionamento da frota dos serviços;
- definição dos itinerários de coleta.

4.1 Estimativa do Volume de Lixo a ser Coletado

A melhor maneira de se estimar a quantidade de lixo a ser coletada é pela monitoração da coleta existente. Pode ser feita de duas formas alternativas:

- monitoração da totalidade do serviço existente;
- monitoração seletiva por amostragem, descritas individualmente mais adiante.

As duas alternativas apresentam imprecisões. A principal decorre do volume *per capita* de lixo gerado poder variar dia-a-dia.

Para se determinar a quantidade de lixo produzida por habitante (*per capita*) por dia, divide-se a quantidade total coletada pelo número total de habitantes atendidos pela coleta nesse dia.

Caso não seja possível realizar nenhum dos dois procedimentos de levantamento de campo, pode-se adotar, para uma abordagem estimativa, um valor genérico de geração de lixo equivalente a 650 g/hab.dia, que corresponde aproximadamente à média dos municípios brasileiros. Esse valor já considera o lixo residencial e o lixo comercial, excluindo os grandes geradores de lixo, os quais a municipalidade não está obrigada a atender.

O Capítulo II – Origem e Composição do Lixo aborda essa questão e descreve, tanto os procedimentos para a caracterização físico-química e para a composição do lixo, quanto para amostragem. O principal aspecto que afeta a coleta e o transporte é a massa específica do lixo, associado a restrições de capacidade volumétrica dos veículos e contentores. Pode-se considerar uma densidade em torno de 250 a 300 kg/m³, caso seja necessário adotar um valor estimado para o peso específico, sem que se realize um plano de amostragem.

Alternativamente, pode-se determinar índices de geração de resíduos domiciliares por extensão de via (expresso em kg/dia por metro de via). Tais índices podem ser obtidos dividindo-se a quantidade total de lixo coletado em um dia pela extensão total das vias coletadas. Naturalmente, esse índice vai ser tanto maior quanto maior a densidade de ocupação da área e a concentração urbana.

4.1.1 Monitoração do total de lixo coletado

Nessa estratégia, avalia-se a quantidade total de lixo coletada diariamente, pela pesagem de todos os veículos carregados, no ponto de transbordo ou de destinação final do lixo.

Essa pesagem possibilita a determinação da quantidade total de lixo coletada num único dia.

Cada um dos veículos deve ter sido previamente pesado vazio (sem carga), de modo que esse valor (tara) seja descontado do peso do veículo carregado, obtendo-se, assim, a quantidade total de lixo coletado.

Considerando-se a existência de variações nos volumes gerados de dia para dia e as regiões atendidas a cada dia, esse procedimento deve ser repetido em mais de um dia, de forma a se obter dados representativos da realidade do município.

Caso existam roteiros de coleta cuja frequência não seja diária (por exemplo, duas ou três vezes por semana), a quantidade de lixo coletada nesse roteiro deve ser dividida pelo número de dias entre coletas (por exemplo, dividir por dois caso a coleta seja em dias alternados), de forma a se obter a quantidade de lixo gerada por dia.

Deve-se lembrar ainda que, mesmo a coleta ocorrendo diariamente, às segundas-feiras a quantidade de lixo corresponde a dois dias, pois ela não é feita aos domingos.

4.1.2 Monitoração parcial do lixo coletado

Nessa alternativa não se monitora a totalidade do lixo coletado no município. Assim, devem ser identificados roteiros de coleta representativos de regiões homogêneas em termos da geração de lixo, bem como da geografia e do tipo de uso e da intensidade de ocupação do solo do município.

Em outras palavras, devem ser identificados, por exemplo, roteiros em bairros residenciais de classe baixa, média e alta, favelas e regiões de difícil acesso, regiões centrais e mais periféricas, de comércio, etc.

A partir das informações relativas a esses roteiros, selecionados para amostragem, é possível expandir a amostra considerando a divisão da cidade em regiões homogêneas.

É preciso também determinar ou estimar o número de habitantes, tanto de cada uma das áreas atendidas – por cada um dos roteiros que foram selecionados para monitoração – quanto das regiões homogêneas em que a cidade foi subdividida com a finalidade de expandir a coleta.

Os veículos dos roteiros selecionados devem ser pesados, considerando-se os procedimentos descritos anteriormente, o que permite determinar índices de geração de lixo domiciliar *per capita* para cada um dos tipos de região, aos quais correspondem os roteiros selecionados.

Valem também, neste caso, as considerações já apresentadas quanto à frequência de coleta e à pesquisa em datas diferentes, de forma a melhorar a qualidade dos resultados obtidos.

4.2 Definição das Frequências da Coleta Domiciliar

A frequência da coleta de lixo domiciliar define o tempo decorrido entre duas coletas consecutivas num mesmo local ou numa mesma zona. Por exemplo, a frequência de coleta pode ser diária, exceto nos domingos e feriados, ou em dias alternados, com folga aos domingos.

Em geral, a restrição econômica é um dos fatores determinantes da frequência da coleta de lixo domiciliar. Quanto maior a frequência, maior o custo total do serviço.

Há também a preocupação em evitar o acúmulo de lixo, propiciando o desenvolvimento de condições favoráveis à proliferação de insetos e roedores. Dessa forma, a quantidade de lixo gerado também influi na definição da frequência de coleta.

Em áreas geradoras de muito lixo, como, por exemplo, regiões comerciais, calçadões e áreas de pedestres ou praias com grande fluxo de pessoas, a frequência de coleta deve ser no mínimo diária, de forma a evitar a acumulação do lixo. Existem registros de locais em que a coleta é efetuada duas vezes por dia. Nesses locais, usualmente de trânsito intenso de pedestres e grande concentração comercial, o acúmulo de lixo proveniente dos serviços de varrição aguardando coleta acaba por induzir a disposição do lixo comercial (que deveria possuir uma destinação diferente).

Quase sempre, a folga ocorre nos domingos e feriados. Esses dias podem não ser os mais adequados, caso coincidam com elevada geração de lixo. Cidades litorâneas ou turísticas podem, ainda, requerer maior frequência de coleta de lixo domiciliar em períodos de temporada.

Excepcionalmente, pode ser necessário coletar o lixo diariamente, sem folgas ou interrupções aos domingos e feriados. Nesses casos, deve ser considerado o adicional de custos incidentes sobre a mão-de-obra, em decorrência da legislação trabalhista vigente, que assegura o repouso semanal remunerado (periodicamente concedido aos domingos).

Em áreas residenciais com baixa densidade populacional ou em que a geração de lixo *per capita* seja baixa, a frequência da coleta do lixo não necessita ser diária, podendo ocorrer em dias alternados (dia sim, dia não), inclusive em feriados, com folga somente aos domingos ou apenas duas vezes por semana.

Mais adiante, no item relativo à avaliação do desempenho operacional dos serviços de coleta de lixo domiciliar, são apresentados indicadores que possibilitam avaliar se a frequência de coleta está ou não adequada.

A participação da população é essencial para uma coleta bem sucedida. É fundamental que os dias e horários de coleta de lixo domiciliar, definidos e informados, sejam cumpridos à risca, criando hábitos regulares na população. Medidas educativas, estimulando a participação da população, com o intuito de assegurar que o lixo seja depositado na via pública, em dia e horário próximo ao da coleta, evitam sua acumulação indevida e todas suas consequências indesejáveis.

Adicionalmente, as campanhas devem estimular cuidados adicionais por parte da população, tais como o acondicionamento do lixo em sacos plásticos, fechados, para evitar o acesso de insetos e roedores; colocar o lixo em locais fora de alcance dos animais, a fim de evitar o seu espalhamento na via pública; acondicionar adequadamente vidros e outros objetos perfurocortantes, para evitar acidentes durante o manuseio pelos coletores.

4.3 Definições dos Horários da Coleta Domiciliar

A coleta de lixo domiciliar pode ser realizada tanto no período diurno quanto no período noturno. A programação da coleta em período noturno depende de diversos fatores, entre os quais, o porte e as características de cada município.

Os aspectos favoráveis e desfavoráveis da coleta noturna são apresentados a seguir.

4.3.1 Coleta noturna – Aspectos favoráveis

- causa menor interferência em áreas de circulação mais intensa de veículos e pedestres, tais como: avenidas, ruas comerciais, vias principais de acesso, vias com faixa exclusiva de ônibus ou corredores exclusivos;
- permite maior produtividade dos veículos de coleta, pela maior velocidade média em decorrência da menor interferência do tráfego em geral, especialmente em vias mais movimentadas;
- significa uma diminuição da frota de veículos coletores, em decorrência do melhor aproveitamento dos veículos disponíveis, proporcionada pelos dois turnos.

Na existência de dois turnos, torna-se importante considerar, na definição dos horários dos turnos, os seguintes aspectos:

- assegurar intervalos entre o horário final de um turno e o horário inicial do outro, visando evitar que eventuais atrasos ou variações nos horários de término da coleta de um turno interfiram no processo de lavagem, lubrificação e rápida manutenção dos veículos ou acarretem atraso no início da coleta no turno seguinte; deve-se ressaltar que alguma variação no horário de término da coleta é normal, dadas as variações diárias nas condições de tráfego e nas quantidades de resíduos a serem coletados;
- em municípios de maior porte, os horários de início e de término de turno devem considerar a locomoção para os bairros onde residem os trabalhadores envolvidos, pelo transporte coletivo.



Figura 5 - Coleta diurna

Há registro também de algumas experiências bem sucedidas com três turnos de coleta, como, por exemplo, das 6 às 14 horas, das 14 às 22 horas e das 22 às 6 horas.

4.3.2 Coleta noturna – Aspectos desfavoráveis

- o ruído produzido em período noturno, em especial pelo manuseio de recipientes metálicos e pela compactação do lixo pelo veículo, causa incômodo à população. Essa situação é particularmente problemática em bairros com alta densidade populacional ou predominantemente residenciais;
- trajeto por vias estreitas, não-pavimentadas ou com muitos buracos pode aumentar o risco de danos e acidentes com os veículos;
- percursos ao longo de vias mal iluminadas podem contribuir para aumentar o risco de acidentes com os coletores, bem como prejudicar a visibilidade na ação da coleta de lixo;

- aumenta a parcela de encargos sociais e trabalhistas incidentes na folha de salários do pessoal de coleta; eventualmente, pode haver maior grau de absenteísmo e de rotatividade da mão-de-obra;
- o uso em dois turnos eleva o desgaste dos veículos e diminui a disponibilidade para manutenção preventiva, podendo acarretar redução da vida útil dos mesmos.

4.4 Dimensionamento da Frota dos Serviços de Coleta

O dimensionamento dos serviços de coleta de lixo domiciliar tem como objetivo determinar o número de veículos necessário aos serviços de coleta, bem como os demais elementos que possibilitem o estabelecimento dos itinerários. Pode ocorrer tanto em função da necessidade da ampliação dos serviços a uma parcela da população ainda não atendida, quanto de um novo serviço ou da reformulação parcial ou total do serviço de coleta.



Figura 6 – Coleta noturna

Essa reformulação pode ser necessária quando: houver substituição e/ou renovação dos veículos e equipamentos por outros com características operacionais diferentes (por exemplo, capacidade dos veículos de coleta); for identificada uma baixa eficiência e produtividade do serviço existente; forem alterados os requisitos do serviço, tais como frequências e horários, entre outros.

Em geral, o dimensionamento da coleta consiste em um processo interativo, uma vez que as decisões vão sendo tomadas e os parâmetros adotados sequencialmente, sem que se consiga avaliar, a cada passo, as suas consequências e implicações. Essa avaliação é possível apenas ao término do processo.

Os resultados podem sugerir a necessidade de revisão das hipóteses adotadas, sendo preciso, às vezes, repetir todo o processo. Em municípios de maior porte, em que o problema torna-se mais complexo, recomenda-se o dimensionamento dos serviços, considerando-se mais de uma alternativa, priorizando-se a mais adequada e econômica, segundo

as restrições de cada município.

Exemplificando: caso a frota disponível seja uma informação dada *a priori*, pode ser necessário rever a divisão do município em setores, bem como as respectivas frequências e horários de coleta, de forma a assegurar que a frota necessária seja inferior ou no máximo igual à frota disponível.

A seguir, são apresentados os passos para o dimensionamento do serviço de coleta de lixo domiciliar.

4.4.1 Levantamento e coleta de dados

Inicialmente, devem ser obtidos os seguintes dados e elementos:

- mapa geral do município, cadastral ou semi-cadastral (escala 1:5.000 ou 1:10.000);
- veículos disponíveis da frota e respectivas capacidades, quando não se tratar de dimensionamento de um novo serviço.

4.4.2 Localização de pontos importantes para a coleta

Em um mapa do município, devem ser localizados os pontos relevantes para a coleta, tais como: garagem de veículo, ponto de descarga, grandes centros geradores de lixo, etc.

4.4.3 Determinação do volume e peso específico do lixo a ser coletado

O volume e o peso específico do lixo gerado são determinados com base nos critérios e procedimentos descritos no Capítulo II – Origem e Composição do Lixo.

4.4.4 Definição dos setores de coleta

A cidade deve ser subdividida em setores de coleta que representem regiões homogêneas em termos de geração de lixo *per capita*, de uso e ocupação do solo (residencial, comercial, favelas, etc.).

Um setor de coleta é composto de um conjunto de itinerários. Os setores de coleta podem ser agrupados em seções ou regionais de coleta em decorrência de fatores administrativos e operacionais.

Para cada setor de coleta, devem ser definidos um horário e uma frequência, com base nos critérios e nas recomendações descritos nos itens 4.2 e 4.3.

Além da frequência de coleta, devem ser definidos, para cada setor, os dias da semana em que esta deve ser realizada. Exemplificando: para um setor cuja coleta é realizada duas vezes por semana, deve-se definir que os dias da semana serão segundas e quintas-feiras; terças e sextas-feiras ou quartas-feiras e sábados.

Cada setor de coleta pode necessitar de um ou mais veículos trabalhando simultaneamente em um roteiro de coleta.

Como princípio básico, todo o lixo coletado em um setor de coleta deve ter um único local para a destinação final. Além disso, os contornos ou limites de um setor de coleta podem ser barreiras físicas ou naturais, tais como rios, lagos, rodovias, linhas férreas, etc. Em geral, deve-se evitar que um setor seja cortado ou dividido por barreiras físicas que dificultem ou impeçam a circulação dos veículos de uma área para a outra.

4.4.5 Estimativa da quantidade total de lixo por setor

A quantidade total de lixo a ser coletada em cada setor (denominada Q) é determinada tanto em termos de peso, quanto de volume. Esses valores são alcançados com base nos procedimentos descritos no item 4.1, que permitem obter a geração de lixo *per capita* e o seu peso específico.

Adicionalmente, é necessário estimar o número de habitantes de cada setor, que pode ser obtido a partir do número de edificações nele existentes, pelas informações constantes no cadastro imobiliário da Prefeitura, no setor de finanças ou de tributos, utilizado para a determinação, apuração e cobrança do Imposto Predial e Territorial Urbano (IPTU). Para cada setor, pode-se definir uma ocupação média, expressa em termos de número de habitantes por edificação.

4.4.6 Estimativa dos parâmetros operacionais por setor

Para cada setor de coleta, devem ser estimados os seguintes parâmetros operacionais:

- distância entre a garagem da empresa e o setor de coleta (D_g);
- distância entre o setor de coleta e o ponto de descarga da coleta, quer seja o ponto de destinação final, quer seja uma estação de transferência (D_d);
- extensão total das vias (ruas e avenidas) do setor de coleta, obtida pela soma da extensão de cada uma das vias pertencentes ao setor de coleta (L);
- velocidade média de coleta que, preferencialmente, deve ser medida em roteiros de coleta existentes (V_c). Dependendo do sistema viário, da topografia do local, do tamanho da guarnição, da quantidade de lixo a ser coletada por unidade de distância (kg/km) e do carregamento do veículo, esta velocidade em geral, varia entre 4 e 6,5 km/h;

- velocidade média dos veículos nos percursos entre a garagem e o setor e entre o setor e o ponto de descarga e vice-versa (V_t). Em geral, deve ser medida em campo, podendo variar entre 15 e 30 km/h, dependendo das condições locais de trânsito, do veículo estar ou não carregado, etc.

As distâncias a um setor de coleta (D_g, D_d) podem ser estimadas considerando o centro geométrico do mesmo.

4.4.7 Dimensionamento do número de roteiros de veículos necessários para cada setor

O número de roteiros de veículos necessários para a coleta em cada setor (N) pode ser estimado a partir da seguinte fórmula:

$$N_s = \frac{1}{J} \left\{ \left(\frac{L}{V_c} \right) + 2 \left(\frac{D_g}{V_t} \right) + 2 \left[\left(\frac{D_d}{V_t} \right) \left(\frac{Q}{C} \right) \right] \right\} \quad (1)$$

onde:

- J : duração útil da jornada de trabalho da guarnição (em horas), desde a saída da garagem até o seu retorno, excluindo intervalo para refeições e outros tempos improdutivos;
- L : extensão total das vias (ruas e avenidas) do setor de coleta, em km;
- V_c : velocidade média de coleta, em km/h;
- D_g : distância entre a garagem e o setor de coleta, em km;
- D_d : distância entre o setor de coleta e o ponto de descarga, em km;
- V_t : velocidade média do veículo nos percursos de posicionamento e de transferência, em km/h;
- Q : quantidade total de lixo a ser coletada no setor, em toneladas ou em m^3 ;
- C : capacidade dos veículos de coleta, em toneladas ou em m^3 ; em geral, adota-se um valor que corresponde de 70 a 80% da capacidade nominal, considerando-se a variabilidade da quantidade de lixo coletada a cada dia.

Em linhas gerais, a fórmula calcula uma estimativa do tempo total necessário para a coleta, que é dividido pela duração útil da jornada (parcela $1/J$), determinando o número, de roteiros de coleta. Por sua vez, o tempo total necessário é dado pela soma de três parcelas de tempo:

- o tempo total de percurso para coleta (L/V_c);
- o tempo de percurso da garagem até o setor de coleta e de retorno do veículo ($2(D_g/V_t)$);
- o tempo total no percurso de ida e volta ao local de destinação final para descarga dos veículos, que é dado pelo tempo de viagem ida e volta ($2(D_d/V_t)$) multiplicado pelo número de viagens necessárias pela descarga (Q/C).

No dimensionamento da frota, é conveniente considerar a geração de lixo de dias normais e coletar, em horas extras, o eventual excesso gerado.

4.4.8 Cálculo da frota total necessária

O objetivo é calcular a frota efetivamente necessária à operação do serviço de coleta de lixo domiciliar.

O dimensionamento da frota resultou na determinação da quantidade de veículos necessária à coleta em cada setor. A frota total não é a soma das frotas obtidas para os setores, uma vez que a coleta não ocorre em todos os setores nos mesmos dias e horários.

A frota total corresponde ao maior número de veículos que precisam operar simultaneamente, isto é, num mesmo dia e horário.

Por exemplo, caso existam apenas dois setores, um diurno e outro noturno, com freqüências diárias e frotas calculadas em cinco e quatro veículos, respectivamente, a frota total necessária é o maior número dos dois valores, isto é, cinco veículos, uma vez que quatro desses cinco veículos vão operar no período noturno.

O cálculo da frota torna-se mais complexo quando há muitos setores com freqüências e horários distintos. Para facilitar esse cálculo, sugere-se a elaboração de uma tabela por turno ou horário de trabalho, onde é indicada, para cada setor, a frota necessária por dia da semana, conforme exemplificado na Tabela 1.

Tabela 1 – Exemplo de dimensionamento de frota no turno diurno

Frota Necessária (Veículos)								
Setor	Freqüência	Dom	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex	Sáb
A	Seg/Qua/Sex	-	3	-	3	-	3	-
B	Ter/Qui/Sáb	-	-	4	-	4	-	4
C	Diária	-	5	5	5	5	5	5
	Total	-	8	9	8	9	8	9

Deve ser preenchida uma tabela para cada horário ou turno de trabalho, previamente definido, e relacionados todos os setores de coleta daquele turno, indicando as respectivas freqüências do serviço.

Para cada setor, devem ser preenchidas (com o valor da frota dimensionada para o setor) as colunas relativas aos dias da semana em que ocorre a coleta.

Totalizam-se as frotas para cada dia da semana. A frota necessária para cada turno ou horário de coleta corresponde à maior frota dentre os sete dias da semana. No caso do exemplo da Tabela 1, a frota para operação do turno diurno corresponde a nove veículos.

Deve-se considerar ainda a frota adicional necessária para os outros serviços de coleta, tais como limpeza de feiras, coleta dos resíduos de varrição e de praias, etc.

Dá-se o nome de guarnição ao conjunto de indivíduos que recolhem e armazenam o lixo no caminhão durante a coleta.

O número de componentes da guarnição de coleta varia em função, principalmente, do tipo de equipamento a ser utilizado, do volume de lixo a ser recolhido, da velocidade desejável do equipamento e da quantidade de ruas sem saída ou muito íngremes, com dificuldade de tráfego dos veículos.

A frota total corresponde ao maior valor dentre as frotas necessárias a cada horário ou turno de trabalho que deve ser utilizada em todos os dias de coleta.

Ao número necessário de veículos é usual se considerar um adicional de 10% de frota como reserva para reparos e manutenção dos veículos e 5% para emergências.

Um indicador de que o dimensionamento da frota pode não estar adequado e, portanto, deve ser revisito, é uma grande diferença (ou disparidade) entre as frotas totais correspondentes a cada dia da semana para cada turno.

Para os caminhões compactadores, são considerados, além do motorista, de dois a quatro coletores para a coleta do lixo nas duas laterais da via. Não há um tamanho ideal para a guarnição. Em geral, são três coletores por veículo, podendo este número ser aumentado para quatro em áreas de maior concentração de lixo, de forma a agilizar a colocação do lixo dentro do caminhão e, conseqüentemente, aumentar a velocidade média de coleta. Em lugares onde há uma coleta de menor quantidade, a composição da equipe pode ser diminuída para até dois coletores por veículo.

No caso dos caminhões abertos, tipo baú ou prefeitura, além dos coletores, há necessidade de mais uma ou duas pessoas sobre a carroceria, que se encarregam de retirar o lixo de dentro do recipiente e devolvê-lo ao servidor responsável pela coleta. Quando o lixo está acondicionado em sacos plásticos, devem ser ajeitados na carroceria com o objetivo de organizar a sua disposição e aproveitar melhor os itinerários.

No caso dos veículos com tração animal, são normalmente utilizados um carreteiro e um coletor, que também se encarrega da distribuição dos resíduos sobre a carroça.

4.5 Definição dos Itinerários de Coleta

O itinerário de coleta é o trajeto que o veículo coletor deve percorrer dentro de um mesmo setor, num mesmo período, transportando o máximo de lixo num mínimo de percurso improdutivo, com o menor desgaste possível para a guarnição e o veículo.

Dá-se o nome de percurso improdutivo aos trechos percorridos em que o veículo não realiza coleta, servindo apenas para deslocamento de um ponto a outro.

Para sua definição, devem ser considerados os seguintes critérios e regras práticas:

- início da coleta próximo à garagem;
- término da coleta próximo à área de descarga;
- coleta em sentido descendente quando feita em vias íngremes, poupando a guarnição e o motor do veículo; adicionalmente, trechos de via com declividade mais acentuada devem

preferencialmente ser percorridos no início do percurso, quando o caminhão está mais vazio;

- percurso contínuo: coleta nos dois lados da rua; no entanto, o percurso deverá ser feito novamente nas ruas de trânsito intenso, evitando-se o cruzamento de vias pela guarnição.

É usual se elaborar, para cada itinerário de coleta, um roteiro gráfico da área, em mapa ou croqui, indicando seu início e término, percurso, pontos de coleta manual (sem acesso ao veículo, sendo o lixo coletado e carregado pelos coletores), trechos com percurso morto e manobras especiais, tais como ré e retorno. Adicionalmente, deve-se elaborar um roteiro descritivo do itinerário da coleta, em forma de tabela, indicando os nomes e os trechos das ruas na seqüência definida pelo itinerário a ser seguido, bem como o tipo de manobra ao final de cada trecho de rua (conversão à esquerda ou à direita, retorno, etc.).

Deve-se considerar que o projeto da coleta é dinâmico e deverá ser acompanhado periodicamente visando observar se há variação da geração de resíduos em cada setor, se novas ruas foram pavimentadas, etc., para efeito de alteração ou ajustes nos roteiros originais ou, até mesmo, nos setores de coleta.

4.5.1 Softwares para a definição de roteiros de coleta domiciliar

Atualmente, já existem no mercado alguns *softwares* para a elaboração de roteiros ou itinerários otimizados de veículos de coleta de lixo e também de circuitos de varrição de ruas. Sua utilização permite definir um conjunto de roteiros que atendem a uma região, assegurando percursos com o menor custo (número de viagens, número de veículos e tempo total) e atendendo às restrições de circulação dos veículos nas ruas da cidade, de capacidade dos caminhões e de duração da jornada de trabalho da guarnição.

Esses softwares, em geral, empregam sofisticados modelos e algoritmos matemáticos para a sua solução.

Um roteiro de um veículo pode ser definido como a ordem ou seqüência que um conjunto de serviços, tarefas ou atendimentos é realizado. Dependendo do tipo e da natureza do problema de limpeza pública, as tarefas a serem realizadas ao longo do roteiro po-

dem ser de duas naturezas distintas, levando a duas categorias de modelos, conforme descritos a seguir.

- Modelos baseados em algoritmos para o conhecido problema do carteiro chinês: as tarefas a serem cumpridas pelos veículos consistem em trechos de ruas a serem percorridos, como ocorre em problemas de coleta domiciliar ou de varrição; neste caso, não há pontos ou locais específicos a serem atendidos; todos os quarteirões e trechos de via necessitam ser percorridos para a coleta do lixo ou a varrição. Neste caso, a otimização está relacionada para assegurar a minimização do percurso improdutivo dos veículos (que implica custo e perda de tempo), decorrente da passagem do veículo em algumas vias ou trechos de via por mais de uma vez, de forma a permitir atingir e trafegar por outras vias, em função de problemas de circulação (mãos e contramãos) e de tráfego de veículo.
- Modelos baseados em algoritmos para o problema do caixeiro viajante: as tarefas a serem realizadas durante os roteiros correspondem a pontos ou locais específicos que devem ser visitados, como ocorre em problemas de coleta de resíduos de saúde ou de lixo industrial, onde há pontos específicos e bem localizados para coleta ou atendimento; neste caso, a otimização está relacionada à melhor seqüência de visita aos pontos, de forma a minimizar o percurso total, atendendo às restrições de circulação de veículos e de horário de atendimento.

Em geral, os *softwares* disponíveis no mercado resolvem ou problemas do tipo carteiro chinês ou problemas do tipo caixeiro viajante; dificilmente dispõem de algoritmos que permitam resolver ambos os problemas.

A obtenção de boas soluções por esses pacotes depende não só do modelo matemático e algoritmo de solução, como também dos dados de entrada para o modelo, em particular os dados que representam o sistema viário e suas restrições de circulação de veículos (mãos de direção, conversões permitidas e proibidas, etc.). Em geral, os *softwares* são dotados de recursos de SIG – Sistema de Informações Geográficas, que permitem representar, graficamente, por meio de mapas na tela do computador, os dados do sistema viário e dos pontos de atendimento.

Antes de adquirir um *software*, é necessário verificar diversos aspectos, entre os quais se ele realmente atende às necessidades locais, os dados necessários para a sua utilização, a facilidade de obtenção e de atualização desses dados, a facilidade de uso, o tipo de equipamento necessário para a sua utilização, entre outros fatores. Podem haver inúmeras restrições e peculiaridades locais, como, por exemplo, a restrição à coleta simultânea nos dois lados da rua em vias largas ou de grande volume de tráfego de veículos, ou frota heterogênea de veículos, ou ainda, mais de um local de destinação final, entre outras, que nem sempre podem ser considerados em alguns dos pacotes existentes.

4.5.2 Estações de transferência ou transbordo

A migração do campo à cidade e o crescimento vegetativo da população provocam uma expansão acelerada da população urbana, o que dificulta a localização de áreas adequadas para o tratamento e destino final dos resíduos, tanto pela oposição da população da vizinhança, como pelo custo dos terrenos.

Em decorrência desse problema, muitas cidades estão buscando e adotando soluções conjuntas e integradas com municípios vizinhos para a destinação final de seus resíduos. Em muitos casos, vários municípios operam uma área comum de disposição (em geral, aterro sanitário), o que acaba ocasionando um aumento das distâncias a serem percorridas pelos veículos coletores provenientes dos diferentes municípios para descarga. Além do aumento do custo do transporte, as grandes distâncias ocasionam uma diminuição da produtividade dos veículos, em função do tempo ocioso despendido para descarga e retorno ao setor de coleta, o que pode acarretar necessidade de aumento do número de veículos de coleta.

As grandes distâncias a serem vencidas até o ponto de destinação final dos resíduos recomendam o uso de estações de transferência ou transbordo que limitem o percurso dos veículos coletores, gerando maior economia e permitindo o transporte do lixo em veículos com capacidade entre 40 e 60 m³ com custos unitários de transporte reduzidos.

Em síntese, as estações de transferência ou transbordo são pontos intermediários, onde o lixo coletado é passado de caminhões de médio porte (coletores) para carretas de maior porte, com capaci-

dade para transportar o equivalente a cerca de três caminhões coletores até o local de destinação final (aterro). Deve-se destacar que em estações de transbordo não é realizado nenhum beneficiamento ou tratamento do resíduo.

As estações de transbordo, se situadas em locais estratégicos da cidade, permitem que os caminhões coletores descarreguem rapidamente e retornem aos roteiros de coleta, proporcionando maior velocidade de retirada do lixo das ruas. Por outro lado, cuidado especial deve ser dado à sua localização, em função dos inconvenientes que um local de armazenagem de lixo, mesmo que temporário, pode gerar para a população vizinha em termos de ruídos, trânsito de veículos pesados, focos de contaminação, etc.

As estações de transferência podem ser classificadas:

- quanto ao meio de transporte (após transferência): rodoviárias, ferroviárias ou hidroviárias;
- quanto ao modo de armazenagem: com fosso e sem fosso de acumulação;
- quanto ao tratamento físico prévio: com sistema de redução de volume ou simples transferência.

Um dos inconvenientes que uma estação de transferência pode ocasionar é o fato de lixo ser compactado durante a coleta e depois se tornar novamente lixo solto na descarga dos veículos coletores no local de transbordo. Toda a energia gasta na compactação é perdida na transferência como lixo solto, reduzindo a produtividade das carretas, uma vez que a capacidade volumétrica do veículo com lixo solto pode ser atingida antes do peso máximo (a compactação pode até triplicar a densidade do lixo solto).

Valores práticos indicam que pode haver viabilidade econômica na implantação de estações de transferência, a partir de uma distância limite para descarga de 6 km para caminhões convencionais e entre 12 e 25 km para caminhões compactadores. Estes valores são apenas indicativos, sendo necessário um estudo comparativo caso a caso que considere os custos de implantação e operação de uma estação e a economia gerada com a diminuição da distância a ser percorrida pelos caminhões coletores.

Deve-se assegurar que o tempo despendido na descarga dos veículos coletores e no carregamento

das carretas seja minimizado, evitando-se a formação de filas, uma vez que esse tempo improdutivo de espera diminui a disponibilidade dos veículos para a tarefa de coleta, ocasionando a necessidade de aumento de frota. Em muitos casos, uma estação de transferência mal projetada em termos de layout e de equipamentos (por exemplo, balança de pesagem, pá-carregadeira, etc.) pode diminuir ou até eliminar os benefícios do transbordo em decorrência do tempo excessivo de espera dos veículos em filas para carga e descarga. Isso para não mencionar os inconvenientes de um eventual congestionamento na área de transbordo, com formação de filas nas vias públicas de acesso, atrapalhando o trânsito e prejudicando as áreas vizinhas.

4.6 Resíduos dos Serviços de Saúde – Coleta

A responsabilidade pela coleta e transporte desse tipo de resíduo é do gerador (Resolução CONAMA nº 05/93, alterada pela Resolução nº 358, de 2005). Porém, na prática, a Prefeitura acaba tendo que fazer ou orientar e fiscalizar.

Cerca de 30% em peso dos resíduos gerados nos estabelecimentos de saúde são patogênicos e devem ter um tratamento especial quanto ao sistema de coleta e destinação final. Deve-se ressaltar que os restantes 70% são potencialmente contaminantes, em função das deficiências e dificuldades de grande parte do sistema de saúde.

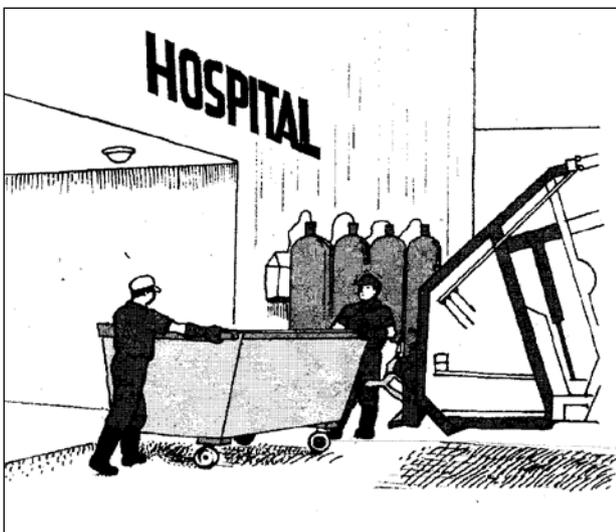


Figura 7 – Coleta dos resíduos de serviços de saúde

A Parte 10 do Capítulo IV – Processamento do Lixo deste Manual trata dos resíduos de serviços de saúde. Aqui, neste Capítulo, serão enfatizados apenas alguns pontos importantes.

A coleta dos resíduos dos serviços de saúde é feita de forma diferenciada visando:

- a destinação apropriada;
- evitar a contaminação de resíduos não-perigosos;
- o manejo seguro de resíduos infectantes.

O gerenciamento da coleta dos resíduos de saúde, em especial dos resíduos perigosos (infectantes, químicos ou radioativos) é fundamental para evitar riscos à saúde pública.

Os resíduos devem ser coletados em todos os estabelecimentos que prestam serviços na área de saúde, podendo estes ser classificados em:

- grandes geradores: hospitais, prontos-socorros, etc.;
- pequenos geradores: farmácias, laboratórios, clínicas dentárias e veterinárias (a produção de resíduos não deve exceder 150 litros diários ou 700 litros semanais).

A coleta dos resíduos dos serviços de saúde compreende uma fase interna e uma fase externa.

4.6.1 Fase interna

Na fase interna, a gestão dos resíduos deve evitar a contaminação no interior dos estabelecimentos de saúde, cujos ambientes favorecem a propagação de infecções. Essa fase envolve: seleção e triagem, transporte interno e armazenamento.

• Seleção e triagem

A seleção e a triagem têm por objetivo separar os resíduos em:

- resíduos sépticos (infectantes – classe A – e especiais – classe B);
- resíduos assépticos (não-contaminados ou comum – classe C).

Deve-se segregar resíduos em que a prevenção de contaminação do ambiente e/ou a vantagem econômica justificam a recuperação de materiais como: filmes de radiografia e produtos de revelação, termômetros, papéis, papelões e restos de alimentos.

• **Transporte interno**

Cada estabelecimento deve criar circuitos apropriados para o transporte de resíduos, evitando confundir os circuitos “limpo” e “sujo”. Deve ainda estudar a interface espacial e temporal com as demais atividades de transporte de doentes e alimentos, entre outros.

Não sendo possível estabelecer segregação entre as diversas classes de resíduos, é recomendável que todo o conjunto seja tratado como perigoso.

• **Armazenamento**

O armazenamento ou a contenção temporária dos resíduos de serviços de saúde deve ser feito em salas especiais localizadas o mais próximo possível das áreas geradoras. A armazenagem externa deve ser feita em recipientes com tampa, em locais abrigados e com acesso previsto apenas para funcionários autorizados. Após a coleta, o recipiente deve ser limpo e desinfetado.

4.6.2 Fase externa

Diariamente, os resíduos sépticos devem ser coletados em veículos com carroceria metálica fechada, de fácil operação de carga e descarga, e lavados com produtos desinfetantes. Para tanto, podem ser utilizados os seguintes tipos de veículo: utilitários para a coleta de pequenos geradores e caminhões compactadores para a coleta de grandes geradores.

Nesses caminhões, o grau de compactação deve ser mínimo para evitar que os sacos se rompam. Devem também possuir equipamento para o basculamento de caçambas e calhas para a contenção de líquidos.

O pessoal envolvido na coleta e transporte de resíduos sépticos, geralmente um motorista e um ou dois coletores, deve trabalhar com luvas e botas,

estar vacinado (vacinas contra hepatite e tétano) e realizar exames médicos periódicos.

Na implantação deste tipo de coleta de lixo, todos os estabelecimentos devem ser cadastrados e orientados com relação à forma de acondicionamento dos resíduos e ao dia e horário em que será feita a coleta.

As normas NBR 12807, 12808 e 12809^{12,21,22} devem ser consultadas quando da gestão dos resíduos dos serviços de saúde.

5 CUSTOS DE COLETA E TRANSPORTE

O controle das despesas e o cálculo dos custos da coleta são aspectos importantes que permitem:

- gerenciamento adequado dos recursos humanos e materiais;
- planejamento dos serviços;
- atualização da taxa de limpeza visando o custeio integral dos serviços de limpeza pública;
- elaboração do orçamento anual municipal;
- negociação em condições de igualdade com a prestadora de serviços contratada (informação é poder);
- cálculo da taxa a ser cobrada do munícipe pela execução do serviço.

Cabe salientar que a determinação dos custos de uma empresa de coleta é efetuada principalmente por motivos contábeis legais. Entretanto, a classificação e a apropriação correta dos custos são fundamentais para se avaliar o desempenho dos serviços e da empresa como um todo, melhorando a tomada de decisões.

No caso da Prefeitura, essas informações são necessárias para que a eficiência das empresas prestadoras dos serviços de coleta de lixo possa ser avaliada, auxiliando na determinação da remuneração a ser paga por esses serviços.

De qualquer forma, essa avaliação pode ser feita comparando-se serviços com características seme-

lhantes ou acompanhando-se a evolução de uma empresa ou seu serviço ao longo do tempo.

A Prefeitura que sabe quanto realmente gasta pode cobrar do munícipe uma taxa justa.

5.1 Classificação de Custos

Custos podem ser definidos como a soma dos insumos (mão-de-obra, energia, materiais, equipamentos, instalações, etc.), necessários para realizar determinado serviço ou operação, avaliados monetariamente.

Os custos podem ser classificados em fixos e variáveis. Os custos fixos englobam as despesas que, na prática, não variam com o nível de atividade da empresa ou com o grau de utilização dos equipamentos. Os custos variáveis são proporcionais à utilização dos equipamentos (por exemplo, à quilometragem percorrida pelos veículos). Há ainda a classificação dos itens de custos entre diretos e indiretos, em relação à atividade aos quais se relacionam.

Essa classificação, entretanto, é insuficiente para avaliar o desempenho dos serviços e prever o efeito das mudanças introduzidas. Alguns custos podem ser diretamente associados às distâncias percorridas pelos caminhões, como, por exemplo, o consumo de combustível. Outros estão associados com o número de horas de operação dos veículos, como o consumo de lubrificante utilizado para a movimentação da caçamba. Essa separação é importante pois prevê uma relação mais clara entre mudanças que ocorrem (suas causas e seus efeitos).

Normalmente, a estimativa de custos operacionais dos serviços de coleta e transporte de resíduos é efetuada por meio de metodologias de custo padrão. Nesse tipo de abordagem, para cada item de custo é definido um coeficiente técnico unitário que é multiplicado por um preço ou custo unitário daquele item.

Exemplificando, no item correspondente ao combustível, o coeficiente técnico é o consumo unitário (medido em litros/km), que é multiplicado pelo preço unitário do combustível (R\$/litro), resultando no custo unitário do combustível (R\$/km).

A seguir, são apresentados os principais componentes de custo de coleta e transporte.

5.1.1 Custos fixos e variáveis

5.1.1.1 Custos fixos

• Custos relacionados com a frota

Os seguintes custos pertencem a esse grupo: depreciação dos veículos, remuneração do capital empregado nos veículos, seguros (inclusive, seguro obrigatório), IPVA, licenciamento, etc. e dependem, basicamente, do tipo, quantidade e idade dos veículos.

- Depreciação dos veículos

A depreciação dos veículos é um item de despesa de capital que consiste na perda de valor do veículo ao longo do tempo. Essa perda de valor é decorrente tanto do desgaste do veículo pelo uso, quanto da sua obsolescência. Alternativamente, pode-se afirmar que a depreciação corresponde à parcela do valor do veículo a ser reservada mensalmente durante a sua vida útil para que, ao término desse período, seu proprietário tenha reunido os recursos que permita substituí-lo por um bem novo similar.

Para a obtenção do custo de depreciação da frota, admite-se como sendo de cinco anos a vida útil de um veículo, inclusive a caçamba. O valor a ser depreciado é normalmente 80% do preço do veículo novo (sem pneus e câmaras), considerando-se um valor residual, ou seja, valor do bem ao final da sua vida útil quando deve ser substituído, de 20%. Em alguns casos, pode-se considerar a depreciação de até 90% do preço do veículo novo.

A definição da vida útil dos veículos, bem como do valor a ser depreciado tem peso no cálculo dos custos de coleta e devem ser definidos de forma criteriosa.

Nesse caso, os coeficientes de depreciação para cada idade de veículo, calculados pelo método da soma dos anos, são:

0 a 1 ano:	0,2667
1 a 2 anos:	0,2133
2 a 3 anos:	0,1600
3 a 4 anos:	0,1067
4 a 5 anos:	0,0533
mais de 5 anos:	0

A depreciação mensal de cada veículo, no ano, é obtida multiplicando-se o seu valor (sem pneus e câmaras), quando novo, pelo coeficiente correspondente à sua idade e dividindo-se esse resultado por doze (número de meses).

A depreciação mensal da frota é obtida somando-se os valores mensais de depreciação de cada veículo.

A depreciação pelo método linear, por sua simplicidade, é também muito utilizada. Apresenta a vantagem de não necessitar verificar a faixa etária de cada veículo para determinar o coeficiente de depreciação correspondente, uma vez que o coeficiente é constante ao longo da vida útil do mesmo.

O coeficiente de depreciação linear pode ser calculado pela seguinte expressão:

$$Dep = \frac{1 - VR/100}{VU} \quad (2)$$

onde:

Dep = coeficiente anual de depreciação;

VR = valor residual, expresso como uma porcentagem do preço do veículo novo;

VU = vida útil do veículo em anos.

Assim, considerando o exemplo acima do veículo com valor residual de 20% ao final da vida útil de 5 anos, o coeficiente de depreciação será de $(1 - 0,2)/5 = 0,8/5 = 0,16$ ou 16% ao ano. Assim, o custo de depreciação anual é de 16% do preço do veículo novo. Dividindo-se por 12, obtém-se o custo de depreciação mensal (1,333% ao mês).

Vale a pena ressaltar que o cálculo pelo método da soma dos anos, por resultar em maior depreciação no início da vida útil, é mais realista em termos da curva real de perda de valor do veículo ao longo do tempo.

- Remuneração do capital relacionado com a frota

A remuneração do capital visa estabelecer o retorno ou remuneração do capital investido na frota.

Para o cálculo da remuneração anual do capital empregado nos veículos pelo método da soma dos dígitos, adota-se a taxa de 12,7% ao ano, equivalente a 1% ao mês. O resultado obtido, dividido por doze, fornece a remuneração mensal.

Remunera-se o valor de cada veículo de acordo com sua idade, deduzindo o que foi depreciado do seu valor, quando novo, de acordo com a seguinte tabela de fatores multiplicativos:

0 a 1 ano:	1,0000
1 a 2 anos:	0,7333
2 a 3 anos:	0,5200
3 a 4 anos:	0,3600
4 a 5 anos:	0,2533
mais de 5 anos:	0,2000

A remuneração mensal de cada veículo é obtida pelo método da soma dos dígitos, multiplicando-se o seu valor (sem pneus e câmaras), quando novo, pelo fator correspondente à sua idade e multiplicando-se esse resultado por 0,01 (1%) que corresponde a uma taxa de juros ou custo de oportunidade de capital.

A remuneração mensal da frota é obtida somando-se os valores mensais de remuneração de cada veículo.

Caso seja adotada a depreciação linear, considera-se a seguinte expressão que fornece o coeficiente anual de remuneração do capital (*RC*), calculado com base no valor médio do investimento ao longo da sua vida útil:

$$RC = \frac{2 + (VU - 1) (1 - VR/100)}{2VU} \quad (3)$$

onde:

RC = coeficiente anual de remuneração de capital;

VR = valor residual, expresso como uma porcentagem do preço do veículo novo;

VU = vida útil do veículo em anos.

Aplicando-se a expressão acima ao exemplo do veículo, valor residual de 20% ao final da vida útil de 5 anos, o coeficiente anual de remuneração de capital (RC), tem-se:

$$RC = \frac{2 + (5 - 1) (1 + 20/100)}{2 \cdot 5} = \quad (4)$$
$$= \frac{2 + (4) (1,2)}{10} = \frac{2 + 4,8}{10} = \frac{6,8}{10} = 0,68$$

De forma análoga ao método da soma dos dígitos, a remuneração mensal de cada veículo é obtida multiplicando-se o seu valor (sem pneus e câmaras), quando novo, pelo fator RC e multiplicando-se esse resultado por 0,01 (1%) que corresponde a uma taxa de juros ou custo de oportunidade de capital de 1% ao mês.

- *Outros custos relacionados com a frota*

Considera-se, ainda, a soma dos custos de seguro do "casco", seguro obrigatório, IPVA, licenciamento de cada veículo, etc., dividida pelos doze meses do ano.

• **Custos relacionados com instalações e equipamentos**

Para as instalações (edifícios e garagens) e equipamentos (máquinas, veículos auxiliares e móveis), não utilizados diretamente no serviço de coleta de lixo, determinam-se os custos mensais de depreciação, remuneração do capital, impostos, taxas, etc.

A determinação da depreciação e remuneração das instalações e equipamentos pode ser obtida do balanço das empresas. No caso das instalações, por terem vida útil elevada (cinquenta anos) em relação

a outros bens, a parcela de depreciação resultante pode não ser significativa. De fato, é possível que, ao invés de uma depreciação, haja uma valorização em função de alteração do uso do solo.

• **Custo da mão-de-obra**

O custo da mão-de-obra pode ser dividido em mão-de-obra direta e mão-de-obra indireta. A mão-de-obra direta está diretamente relacionada com a atividade de coleta. A mão-de-obra indireta compreende as atividades administrativas, de apoio e de fiscalização.

- *Mão-de-obra direta*

Compreende os salários, encargos adicionais e benefícios concedidos (refeições, assistência médico-odontológica, etc.) aos motoristas e coletores. Para avaliar medidas de desempenho, pode-se separar os custos devidos aos motoristas dos coletores.

- *Mão-de-obra indireta*

Compreende os salários, encargos e benefícios concedidos aos mecânicos, fiscais e funcionários administrativos. Para avaliar medidas de desempenho, pode-se separar os custos devidos aos mecânicos e fiscais dos demais.

• **Outros custos fixos mensais**

Compreende os custos de material de escritório, serviços de terceiros, uniformes, água (consumo humano), energia elétrica, telefone, gás, etc.

5.1.1.2. Custos variáveis

• **Custo por quilômetro percorrido (\$/km)**

Enquadram-se nessa categoria: combustíveis, óleos lubrificantes (cárter, transmissão, freio, etc.), graxas, filtros, conjunto de rodagem (pneus, câmaras e protetores), peças de reposição dos caminhões, etc. É obtido da seguinte forma:

- dividem-se as quantidades dos insumos consu-

midos por cada veículo, pelo número de quilômetros percorridos;

- multiplica-se o consumo quilométrico pelo preço de cada insumo;
- somam-se os custos quilométricos dos insumos de todos os veículos.

No caso dos pneus, deve-se levar em conta o custo do pneu novo, sua vida útil, as recapagens e respectivas vidas úteis, conforme indicado a seguir:

$$\text{custo dos pneus por km} = \frac{N \text{ CN} + R(\text{CR})}{\text{VN} + R(\text{VR})} \quad (5)$$

onde:

N = número de rodas do veículo;

R = número de recapagens;

VN = vida útil, em km, de um pneu novo;

VR = vida útil, em km, de um pneu recapado;

CN = custo de um pneu novo;

CR = custo de uma recapagem.

No caso das peças de reposição dos caminhões, os valores totais gastos são divididos pelo número total de quilômetros percorridos.

• **Custo por hora de operação dos veículos (\$/h)**

Nessa categoria enquadram-se, por exemplo, lubrificantes, fluido hidráulico consumido pela caçamba e peças que foram substituídas. Esse custo é obtido da seguinte forma:

- dividem-se as quantidades dos insumos consumidos por cada veículo, pelo número de horas de operação;
- multiplica-se o consumo horário pelo preço de cada insumo;
- somam-se os custos horários dos insumos de todos os veículos.

No caso das peças de reposição das caçambas, dividem-se os valores totais gastos pelo número total de horas operadas.

5.1.2 Custos unitários

Os custos podem ser agregados de acordo com a análise desejada. Dessa forma, pode-se prever o impacto de mudanças que ocorrem, ou alterações introduzidas, sobre a empresa e, conseqüentemente, sobre a remuneração dos serviços prestados. A classificação, já indicada, permite uma estimativa bastante precisa do custo decorrente de determinada alteração, como, por exemplo, a mudança de locais de disposição final do lixo.

Para a obtenção de uma estimativa rápida do custo para se introduzir ou ampliar um serviço de coleta, pode-se utilizar custos unitários dos serviços já existentes. São exemplos de custos unitários, o custo quilométrico, o custo médio por tonelada coletada e o custo médio por pessoa atendida.

Esses três custos unitários estão também relacionados com a eficiência da empresa de coleta. É possível ainda determinar a eficiência de um veículo, roteiro ou distrito de coleta, bastando agregar os custos variáveis por veículo, roteiro ou distrito e ratear o custo fixo pela quilometragem correspondente.

- Custo quilométrico

O custo quilométrico é obtido dividindo-se o custo anual (mensal) total de coleta, incluindo-se os custos fixos, e os variáveis, pela quilometragem total percorrida em um ano (em um mês) pelos veículos.

- Custo por tonelada

Da mesma forma, o custo médio por tonelada é obtido dividindo-se o custo total de coleta, de um período, pela quantidade total de lixo coletado, em toneladas.

- Custo por pessoa atendida

O custo médio por pessoa atendida é obtido dividindo-se o custo total de coleta, de um período, pelo número de pessoas atendidas.

5.1.2.1 Comparação com outras cidades

Ao se comparar custos e preços entre cidades, deve-se considerar que:

- cidades maiores tendem a ter custos unitários de coleta menores se comparados aos das cidades menores, em função de economia de escala;
- cidades de mesmo porte podem ter custos diferentes em função de variações significativas em alguns parâmetros, como: densidade populacional, distância da área de descarga, condições das vias, etc.;
- o custo a ser comparado pode não representar a qualidade necessária na execução dos serviços.

Portanto:

- os preços praticados em outras cidades devem servir como indicadores não-conclusivos;
- em virtude dos altos valores envolvidos na coleta, seja qual for o modelo de gestão adotado, é fundamental a apropriação de custos.

6 AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO

Além dos três custos unitários indicados no item anterior, outras medidas de desempenho podem ser consideradas buscando avaliar a empresa ou o serviço.

É fundamental a avaliação periódica do desempenho dos serviços de coleta domiciliar, tanto no caso da coleta ser efetuada pelo poder público quanto por empresa contratada.

A população pode contribuir efetivamente para a avaliação do desempenho dos serviços. Portanto, é importante estabelecer um canal de comunicação direta (por exemplo, o “disque limpeza”).

No entanto, a falta de providências pelo Poder Público para as reclamações pode levar ao descrédito desse instrumento. As reclamações recebidas podem ser compiladas, verificadas e/ou confirmadas e transformadas em índices de desempenho.

6.1 Medidas de Produtividade

- toneladas coletadas/(veículo x turno): indica quantas toneladas cada veículo, ou grupo de veículos, coleta por turno. Têm-se observado valores entre 4 e 8 toneladas por viagem, para uma média de duas viagens por turno (para caminhão compactador com capacidade de 10 a 15 m³);
- km coleta/(veículo x turno): indica quantos quilômetros de coleta cada veículo, ou grupo de veículos, percorre por turno.

Valores baixos para os dois indicadores sinalizam que a coleta é pouco eficiente. Elevada quilometragem e baixa tonelagem podem ser causadas por reduzida densidade de lixo. Elevada tonelagem e baixa quilometragem podem ser causadas por alta densidade de lixo.

6.2 Indicadores de Eficiência Operacional

6.2.1 Utilização de veículos

- velocidade média de coleta: representa a velocidade média do(s) veículo(s) durante o processo de coleta. É medida em km/h. Porém, utiliza-se também kg/h e m³/h;
- km coleta/(km de coleta e transporte): indica a razão entre a distância percorrida na coleta e a distância percorrida na coleta e no transporte até a disposição final ou estação de transferência (ida e volta). Utiliza-se, também, a relação tempo de coleta/tempo de coleta e transporte;
- km coleta/km total: semelhante ao cálculo anterior, considera também o percurso da garagem até o local e coleta (ida e volta). Utiliza-se, inclusive, a relação tempo de coleta/tempo total;
- tonelagem coletada/capacidade: total coletado pelo(s) veículo(s) e sua(s) capacidade(s) para determinado número de viagens. É importante observar que, na fase de dimensionamento dos roteiros, veículos, tipo e frota, utiliza-se um coeficiente de 0,7 para essa relação.

6.2.2 Mão-de-obra

- coletores/(população atendida x 1000): têm-se observado valores de 0,2 a 0,4 para a América Latina²³;
- tonelagem coletada/(turno x coletor): considerando-se turno de 8 horas, nota-se valores entre 2 e 5 para a América Latina e 5 e 8 para os EUA, onde a coleta possui um grau maior de mecanização²³;
- mão-de-obra direta/mão-de-obra indireta: expressa a relação entre o número de funcionários empregados diretamente na coleta e o número de funcionários administrativos e de apoio. Pode-se calcular, também, o custo da mão-de-obra direta sobre o custo da mão-de-obra indireta em determinado período.

6.2.3 Manutenção

- quilometragem média entre quebras: medida para um ou mais veículos, está relacionada com a eficiência da manutenção preventiva. Entretanto, deve-se levar em conta a idade do(s) veículo(s);
- veículos disponíveis/frota: está relacionada com a eficiência geral da manutenção.

6.3 Indicadores de Qualidade

- população atendida/população total: o ideal é atender 100% da população;
- regularidade: a regularidade pode ser medida como porcentagem das coletas efetuadas no período sobre o total de coletas planejadas;
- frequência: no Brasil, adota-se uma frequência mínima de duas vezes por semana para coleta domiciliar, uma vez por dia para coleta dos serviços de saúde, e até mais de uma vez por dia em locais onde são produzidas grandes quantidades de lixo (centros comerciais) ou locais de turismo ou lazer. Dependendo da forma como o lixo domiciliar é armazenado, pode-se reduzir a frequência para uma vez por semana, como acontece nos EUA, onde são utilizados contêineres basculáveis.

6.4 Nível de Segurança

- quilometragem média entre acidentes com veículos: medida do grau de segurança operacional do(s) veículo(s) pelo(s) motorista(s);
- tempo médio entre acidentes com pessoal: medida do grau de segurança da atividade de coleta;
- roupas com sinalização adequada.

7 ASPECTOS INSTITUCIONAIS

É importante distinguir no lixo urbano os resíduos resultantes de varrição, coleta domiciliar, comercial ou de serviços (inclusive certo volume do lixo industrial), dos resíduos que, por suas características, exigem um tipo especial de acondicionamento, coleta, transporte, tratamento e disposição final.

A realização da coleta dos primeiros é incumbência da municipalidade, consistindo em prestação de serviço essencial e, por esta razão, não se apresenta como um serviço facultativo, e sim como um dever da administração. Já os resíduos sólidos industriais e outros especiais são coletados facultativamente pela municipalidade, constituindo obrigação do gerador realizar o seu adequado acondicionamento, transporte e destino final. Vale lembrar que para os resíduos dos serviços de saúde, a Resolução do CONAMA nº 358/05 atribui a responsabilidade pela sua coleta aos respectivos geradores.

Nas cidades médias e pequenas prevalece a administração direta. Nas cidades grandes existe a tendência de se criar entidades autônomas – empresas públicas, autarquias ou sociedades de economia mista que possuem um sistema administrativo independente da burocracia municipal – objetivando uma maior agilidade e autonomia operacional e administrativa. Porém, ainda que as atividades administrativas, de formulação de políticas e de planificação estejam sob a responsabilidade do município ou da sua empresa, observa-se, na parte operacional, uma crescente concessão dos serviços a empresas privadas (Capítulo VII – Legislação e Licenciamento Ambiental).

Atualmente, os serviços de coleta podem ser remunerados apenas por uma taxa cobrada em guia

de imposto predial, não havendo possibilidade de cobrança por meio de tarifa, como ocorre com a água e a luz.

Algumas entidades, como a Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental (ABES) e a Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental de São Paulo (CETESB), ministram regularmente cursos sobre limpeza urbana, especificamente sobre coleta de lixo. Algumas universidades, como a Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), a Universidade Estadual do Rio de Janeiro (UERJ), a Universidade de Campinas (UNICAMP) e a Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), mantêm cursos de graduação e pós-graduação nesta área.

8 OUTROS SERVIÇOS

8.1 Varrição

A coleta de lixo das ruas e logradouros públicos (praças, praias, parques) pode ser feita manual ou mecanicamente. Tem como objetivo:

- minimizar riscos à saúde pública;
- manter a cidade limpa;
- prevenir enchentes e assoreamento de rios.

A varrição, feita pela administração direta ou por empresa contratada, envolve despesas significativas e deve ser executada por um plano de varrição, estabelecendo:

- setores da cidade e suas respectivas frequências de varrição;
- roteiro e número necessários de servidores e equipamentos;
- produtividade esperada.

Limpar uma rua é diferente de manter uma rua permanentemente limpa. Ruas limpas, cestos de coleta implantados, campanhas permanentes de educação e uma rigorosa fiscalização do cumprimento das posturas municipais funcionam como aspectos inibidores para as pessoas que estão acostumadas a jogar lixo em qualquer lugar.

A limpeza das calçadas e das ruas não depende apenas da atuação da Prefeitura, mas, principalmente, da educação e conscientização da população.

Deve-se promover campanhas de educação junto à comunidade para que o lixo seja colocado nos cestos de rua. Papéis, embalagens, palitos, cigarros e outros objetos, comumente lançados nas calçadas, podem ser facilmente colocados num cesto, mantendo a aparência limpa da rua e valorizando a cidade como um todo. A limpeza das ruas é um fator importante na atração de turistas, que reparam em detalhes dos locais que visitam.



Figura 8 – Símbolo de local para descarte de lixo

No exterior, é comum as pessoas que jogam lixo fora do cesto receberem multas, inclusive, em estradas interestaduais. Essas multas podem chegar a centenas de dólares.

Além de valorizar a cidade, a aplicação de campanhas do tipo “mantenha a sua cidade limpa” reduz os custos de varrição, já que o lixo fica concentrado nos cestos.

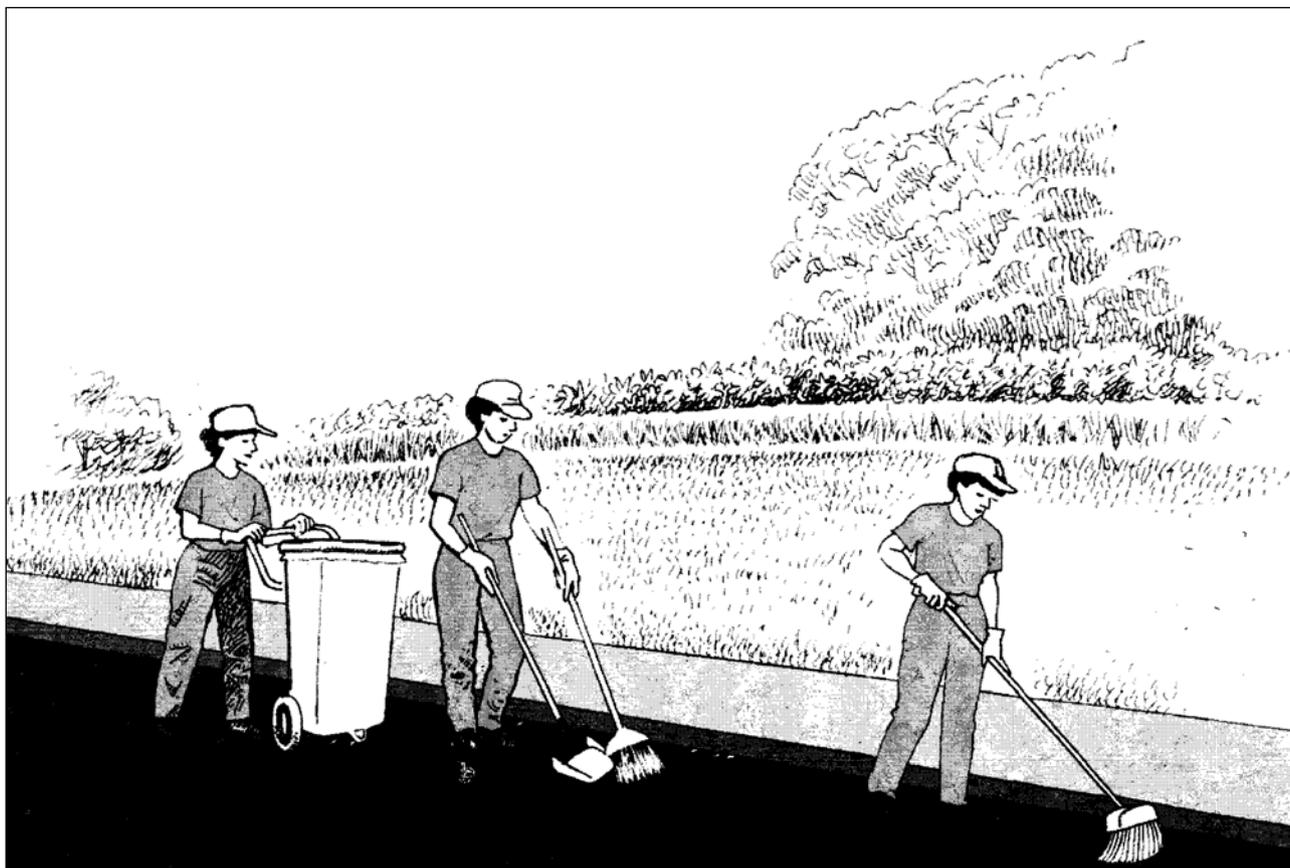


Figura 9 – Varrição manual

8.1.1 Varrição manual

Para a elaboração de um plano de varrição, são necessárias informações mapeadas de:

- delimitação da área;
- topografia;
- tipo de pavimentação;
- uso do solo;
- extensão das vias;
- circulação de pedestres;
- localização de cestos;
- qualquer outra informação que possa ter relação com a varrição, como, por exemplo, localização de feiras, parques, paradas de ônibus, etc.

A localização das instalações de apoio, que englobam refeitórios, sanitários, vestiários, garagens, salas de administração e equipamentos, deve ser estudada detidamente, pois, dependendo do porte

da cidade, uma única instalação pode representar significativa perda de tempo com deslocamentos.

Devido ao caráter permanente do serviço de varrição, o investimento na implantação de instalações de apoio pode vir a se justificar e ser feito, desde que haja uma demanda da comunidade local pela extensão do serviço e disposição de todos em pagar a respectiva taxa.

No entorno desses pontos de apoio, definem-se os setores de varrição, com um raio de, aproximadamente, 800 m, e os roteiros que poderão ser feitos por dois garis e um carrinheiro ou dois garis por sarjeta e um carrinheiro³.

Os roteiros devem ser circulares e no sentido dos declives, de modo que cada gari, partindo do ponto de apoio, finalize sua jornada regressando ao início. A varrição noturna pode apresentar produtividade surpreendente pela ausência de veículos e pedestres, com equipes trabalhando em regime de 12 horas de trabalho por 36 horas de descanso.



Figura 10 – Veículo para varrição mecânica

A frequência de varrição é função direta do tipo de ocupação do solo, ou seja, maior em áreas de grande fluxo de pedestres e menor em regiões residenciais.

8.1.2 Varrição mecânica

A varrição mecânica pode ser feita por varredoiras e, segundo o chassi, podem ser classificadas em normal (4 rodas) e triciclo (mais maleáveis).

Quanto ao sistema de recolhimento, as varredoiras podem ser classificadas em: mecânicas (recolhem os detritos com uma escova que varre os resíduos para dentro da máquina) e aspiradoras (aspiram os resíduos diretamente para dentro da máquina).

As varredoiras mecânicas e aspiradoras são indicadas para aeroportos e pistas de trânsito rápido ou para ruas de nível sem estacionamento de veículos.

Como referência, pode-se ter um rendimento de pessoal varrendo de 1000 a 2500 m de lixo de rua por dia, considerando as sarjetas de ambos os lados coletando de 30 a 90 kg de lixo/km varrido com 0,4 a 0,8 varredor para cada 1000 habitantes²³.

Além da varrição, os logradouros, as praças, as praias e o sistema de captação de águas pluviais de uma cidade necessitam de serviços complementares à sua manutenção.

8.2 Capinação e Roçagem

A capinação pode ser manual ou por tratamento químico com herbicidas, e deve ser feita, em média, a cada três meses. Um planejamento mais detalhado deve considerar a velocidade de crescimento do mato, que varia significativamente conforme a estação do ano.

Na capina manual são utilizadas ferramentas como pás, foices, garfos, enxadas e carrinhos de mão por equipes preferencialmente grandes. Para o dimensionamento da equipe, algumas cidades adotam até 150 m²/dia/servidor.

No tratamento químico, uma pessoa pode pulverizar uma área de 10 mil m²/dia. No entanto, esse serviço pode afetar animais, plantas, população próxima e o próprio operador, não sendo indicada no período chuvoso. Existem controvérsias na sua adoção, que, no entanto, caso confirmada, recomenda-se a orientação de um engenheiro agrônomo quanto à escolha do produto e sua dosagem, dada a potencialidade de danos ambientais e à população.

A roçagem é feita quando se deseja manter uma cobertura vegetal para se evitar deslizamentos de terra e erosões ou por razões estéticas. Pode-se utilizar, por exemplo, o alfanje (foice de cabo comprido, também conhecido como gadanha), que apresenta rendimento de cerca de 200 a 300 m²/dia/pessoa ou roçadeiras costais, com um rendimento 50% superior, ou ainda microtratores de roçadeira.

A capinação de terrenos e passeios particulares deve ser realizada por seus proprietários, orientados pela fiscalização de limpeza pública.

8.3 Limpeza de Praias

A frequência da limpeza e o número de equipes nas praias devem ser maiores em épocas de grande movimento, como férias e finais de semana.

Cestos e tambores devem estar dispostos ao longo da praia e serem sistematicamente esvaziados e mantidos.

A limpeza manual pode ser feita por grupos de trabalhadores providos de ancinhos e a limpeza mecânica por ancinhos puxados por minitratores.

Campanhas do tipo “mantenha a cidade limpa”, em parceria com a iniciativa privada com distribuição de sacos de lixo, também são importantes na sua conservação. Entretanto, estas campanhas devem ser adotadas com cautela. Muitas Prefeituras desistiram desta prática por causa da transformação dos próprios sacos em lixo, abandonados na areia. Deve-se considerar uma campanha ampla de conscientização, que garanta a utilização correta dos sacos.

8.4 Limpeza de Locais ou Ruas onde há Feiras Livres

A limpeza das feiras livres deve ser feita imediatamente após o seu encerramento, por pessoal munido de vassourões, pás e carrinhos de mão. A lavagem, principalmente das áreas onde foram comercializados peixes e carnes, deve ser complementada com aplicação de desinfetantes ou desodorantes. Grandes recipientes podem ser utilizados quando houver grande volume de resíduos.

Deve haver também um trabalho de fiscalização onde há leis municipais específicas ou de limpeza pública no sentido de orientação aos feirantes a acondicionar os seus resíduos.

8.5 Limpeza de Bocas-de-Lobo, Galerias e Córregos

A limpeza de bocas-de-lobo pode ser feita manualmente por um ou dois trabalhadores munidos de pás, picaretas e ganchos, ou mecanicamente por um conjunto de aspirador, motor e mangueira para jateamento de água, denominado eductor.

Deve-se limpar regularmente todas as bocas-de-lobo, priorizando locais de grande circulação de pedestres, onde o serviço de varrição ainda não foi implantado, e áreas sujeitas à inundação ou enchentes.

Na limpeza de galerias, é fundamental a existência de cadastro indicando o seu posicionamento.

A limpeza de córregos também deve ter uma programação assentada nos combates a enchentes e à ausência de coletor de esgotos, o que causa grande demanda por este serviço, em função do mal-cheiro e da infestação de insetos. A limpeza das margens pode ser feita pela roçagem e coleta do lixo acumulado. O leito do córrego pode ser limpo manualmente, por draga ou retroescavadeira.

8.6 Remoção de Animais Mortos

A remoção de animais de grande porte mortos pode ser feita utilizando-se caminhões dotados de carrocerias fechadas ou não, munidas com guincho.

É necessária, também, a divulgação de um ca-

nal de contato com a Prefeitura (por exemplo, um número de telefone específico) já que este tipo de serviço é executado por demanda pontual.

8.7 Pintura de Guias

Usualmente, esse serviço é feito pelo departamento responsável pela limpeza urbana como complementação dos serviços de varrição, capina e limpeza de sarjetas.

Além de ressaltar a limpeza do logradouro/rua, a pintura de guias é útil na orientação do tráfego de veículos. A frequência adotada no plano de manutenção, ou seja, o retorno regular para o repasse da pintura, é condicionada ao tipo de material utilizado, como cal e látex, e a qualidade (visibilidade) que se deseja dar ao local.

8.8 Coleta de Resíduos Volumosos e Entulho

Diariamente, um dos persistentes problemas que as administrações municipais enfrentam é a remoção de montes de resíduos, das mais diversas composições, que não são removidos pela coleta regular. Esses são descartados clandestinamente em todos os tipos de área, como terrenos públicos e particulares, vias de tráfego, passeios e áreas verdes, propiciando a proliferação de vetores, impedindo o tráfego de veículos e pedestres e deteriorando a paisagem urbana.

A atuação da fiscalização de limpeza pública é fundamental na prevenção do descarte clandestino. Deve orientar a população sobre áreas autorizadas para o descarte de resíduos e autuar firmemente as pessoas pegas em flagrante.

A coleta de resíduos volumosos é feita, geralmente, por caminhões basculantes ou de carroceria, associados ou não a pás carregadeiras. Essa coleta pode ser gerenciada de maneira a se otimizar a utilização dos equipamentos da Prefeitura.

O sistema mais adotado, porém de menor racionalidade técnica, é o que coleta os resíduos de acordo com reclamações específicas, provenientes de diversos pontos da cidade.

Outro sistema de coleta de resíduos volumosos é o de operações permanentes chamadas “bota-fora”, “cata-bagulho” ou “cata-tralha”, onde a administração municipal setoriza a cidade e programa a coleta, informando previamente à população a data de coleta.

Esse tipo de coleta apresenta alguns inconvenientes, como a excessiva demora do retorno a um setor já atendido, obrigando a população a permanecer com os resíduos por longo tempo e a frota permanentemente alocada na remoção de resíduos.

O sistema que pode ter uma racionalidade maior é aquele que inverte o conceito de coleta executada pela administração municipal, transferindo a responsabilidade ao cidadão. Pode ser feito pela criação e divulgação em bairros de “estações entulho” e resíduos volumosos, à semelhança dos “amenity sites” ingleses ou “décheteries” franceses. Ocupando pequenas áreas, preferencialmente já utilizadas para descarga clandestina, cercadas e sob a coordenação de um servidor, podem funcionar como áreas de recebimento e armazenagem temporária de resíduos trazidos pelo cidadão, não-coletados pela coleta regular. Esses resíduos, posteriormente, serão transferidos para áreas maiores

pela administração municipal, onde poderão ser reciclados ou aterrados.

Nota-se a proliferação, em muitas cidades, de empresas especializadas na coleta de entulho (resíduos volumosos provenientes da construção civil). Além da preocupação com o descarte, mencionada acima, o poder público deve regulamentar e fiscalizar a permanência das caçambas coletoras no leito carroçável das vias públicas, de modo a minimizar os riscos de acidentes com veículos, além dos transtornos e obstruções que possam prejudicar a fluidez do tráfego. A permanência máxima dessas caçambas também deve ser verificada, de modo a evitar que o acúmulo de lixo e o descarte indevido de lixo residencial nessas caçambas abertas e ao ar livre sejam vetores de proliferação de insetos e roedores.

A coleta especial, por parte da administração mediante solicitação e pagamento do serviço pelo município, está prevista em diversos códigos municipais. No caso de haver outras prioridades na alocação da frota, é possível repassar este serviço a caminhoneiros particulares desde que cadastrados na Prefeitura e devidamente informados sobre as áreas e tipos de resíduos permitidos para a descarga.

BIBLIOGRAFIA

1. NOVAES, A. G. N. 1994. Logística aplicada: suprimento e distribuição física. São Paulo: Pioneira. 268 p.
2. Plano de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos da Cidade de São Paulo, 2012.
3. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. 1993. Coleta, varrição e acondicionamento de resíduos sólidos urbanos – terminologia; NBR 12980. Rio de Janeiro.
4. INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO, 1999. Saco para lixo – especificação. São Paulo. 5 p. (IPT-NEA 59).
5. ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. Sacos plásticos para acondicionamento de lixo - Requisitos e métodos de ensaio; NBR 9191:2008.
6. SÃO PAULO (Cidade). 1987. Lei nº 10.315, de 30 de abril de 1987. Dispõe sobre a limpeza pública no município de São Paulo.
7. SÃO PAULO (Cidade). 1989. Lei nº 10.746, de 12 de setembro de 1989. Dispõe sobre a limpeza pública no município de São Paulo.
8. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. 1994. Símbolos de visão e manuseio para o transporte e armazenamento de materiais; NBR 7500. Rio de Janeiro. 62 p.
9. INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO, 1993. Embalagem para resíduos de serviços de saúde, perfurantes e cortantes – especificação. São Paulo. 4 p. (IPT-NEA 55).
10. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. 1997. Coletores para resíduos de serviços de saúde perfurantes ou cortantes – requisitos e métodos de ensaio; NBR 13853. Rio de Janeiro. 4 p.
11. INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO, 1996. Recipiente para resíduos não-perfurantes de serviços de saúde. São Paulo. 4 p. (IPT-NEA 73).
12. ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. Resíduos de serviços de saúde — Gerenciamento de resíduos de serviços de saúde intraestabelecimento; NBR 12809:2013.
13. BRITISH STANDARDS INSTITUTION – BSI. 1997. Mobile waste containers. Part 1. Containers with two wheels with a capacity from 80 l to 390 l for comb lifting devices – dimensions and design; BS EN840-1. London. 14 p.

L I X O M U N I C I P A L
M A N U A L D E G E R E N C I A M E N T O I N T E G R A D O

14. BRITISH STANDARDS INSTITUTION – BSI. 1997. Mobile waste containers. Part 2. Containers with four wheels with a capacity from 500 l to 1200 l with flat lid(s), for trunnion and/or comb lifting devices – dimensions and design; BS EN 840-2. London. 14 p.
15. BRITISH STANDARDS INSTITUTION – BSI. 1997. Mobile waste containers. Part 3. Containers with four wheels with a capacity from 770 l to 1300 l with dome lid(s), for trunnion and/or comb lifting devices – dimensions and design; BS EN 840-3. London. 16 p.
16. BRITISH STANDARDS INSTITUTION – BSI. 1997. Mobile waste containers. Part 4. Containers with four wheels with a capacity from 750 l to 1700 l with flat lid(s), for wide trunnion or BG and/or wide comb lifting devices – dimensions and design; BS EN 840-4. London. 15 p.
17. BRITISH STANDARDS INSTITUTION – BSI. 1997. Mobile waste containers. Part 5. Performance requirements and test methods; BS EN840-5. London 6 p.
18. BRITISH STANDARDS INSTITUTION – BSI. 1997. Mobile waste containers. Part 6. Safety and healthy requirements; BS EN840-6. London. 6 p.
19. AMERICAN NATIONAL STANDARDS INSTITUTE – ANSI. 1994. Waste containers: safety requirements; Z245.30. Washington, 26 p.
20. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. 1995. Caçamba estacionária de 0,8 metros cúbicos, 1,2 metros cúbicos e 1,6 metros cúbicos para coleta de resíduos sólidos por coletores-compactadores de carregamento traseiro – terminologia; NBR 13333. Rio de Janeiro. 2 p.
21. ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. Resíduos de serviços de saúde — Terminologia; NBR 12807:2013.
22. ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. Resíduos de serviços de saúde — Classificação; NBR 12808:2016.
23. METROPOLITAN TORONTO WORKS DEPARTMENT. Solid Waste Management Division. [s.d.]. Your guide to waste reduction and recycling in metropolitan Toronto. Toronto. [s.l.].
24. RESOLUÇÃO CONAMA nº 358, de 29 de abril de 2005. Publicada no DOU nº 84, de 4 de maio de 2005, Seção 1, páginas 63-65.

CAPÍTULO IV

PROCESSAMENTO DO LIXO

PARTE 1 – SEGREGAÇÃO DE MATERIAIS

LIXO MUNICIPAL
MANUAL DE GERENCIAMENTO INTEGRADO

1 INTRODUÇÃO

A segregação de materiais do lixo tem como objetivo principal a reciclagem de seus componentes.

Reciclagem é o resultado de uma série de atividades, pela qual materiais que se tornariam lixo, ou estão no lixo, são desviados, coletados, separados e processados para serem usados como matéria-prima, na manufatura de novos produtos.

A reciclagem pode trazer vários benefícios, entre eles:

- diminuição da quantidade de lixo a ser aterrada;
- preservação de recursos naturais;
- economia de energia;
- diminuição de impactos ambientais;
- novos negócios;
- geração de empregos diretos e indiretos.

Deve ficar claro que a possibilidade de reciclar materiais só existe se houver demanda por produtos gerados pelo processamento destes. Assim, antes de um município decidir se vai estimular ou implantar a segregação de materiais, visando a sua reciclagem, é importante verificar se há esquemas pelos quais possa haver escoamento desses materiais (venda ou doação).

ATENÇÃO!

A reciclagem é uma atividade econômica que deve fazer parte de um conjunto de ações integradas que visam um melhor gerenciamento do lixo.

Não se deve segregar material para reciclagem caso não haja demanda significativa dos mesmos.

A análise do mercado de recicláveis, principalmente da região, ditará quais os produtos do lixo que poderão ser reciclados industrialmente.

Existem associações e empresas, organizadas de acordo com o tipo de produto fabricado, que poderão ser uma excelente referência em uma pesquisa de mercado. A relação dessas associações encontra-se no Anexo B. Além disso, o CEMPRE dispõe de um cadastro de compradores de sucata no Brasil.

Quando uma Prefeitura opta por um programa de reciclagem, tem de tomar uma decisão estratégica em relação ao processo de separação dos mate-

riais a serem reciclados. Há, basicamente, dois caminhos a seguir:

- coleta seletiva – é a separação dos materiais na fonte pelo gerador (população), com posterior coleta dos materiais separados;
- usinas de triagem – é a separação dos materiais em usinas de triagem, após a coleta normal e transporte de lixo.

No caso de materiais recicláveis, é importante lembrar que existe uma sazonalidade de preços para a venda, e que esta não é igual para todos os tipos de material. Por isso, indica-se o planejamento dos estoques de materiais e a existência de um local para seu armazenamento, uma vez que a flutuação no mercado comprador prejudica o fluxo de saída dos mesmos.

2 COLETA SELETIVA

A coleta seletiva de lixo é um sistema de recolhimento de materiais recicláveis, tais como papéis, plásticos, vidros, metais e “orgânicos”, previamente separados na fonte geradora. Estes materiais são vendidos às indústrias recicladoras ou aos sucateiros.

Existem diversas formas de operar um sistema de coleta seletiva de lixo sólido domiciliar urbano. Cada município deve avaliar e adotar aquele que melhor lhe convier. Em alguns casos, a combinação de diferentes metodologias poderá gerar os melhores resultados.

Antes de iniciar qualquer projeto que envolva a coleta e reciclagem de lixo, é importante avaliar qualitativamente e quantitativamente o perfil dos resíduos sólidos gerados em diferentes pontos do município. Esta caracterização permitirá estruturar melhor o projeto de coleta (ver Capítulo II – Origem e Composição do Lixo). No Brasil, muitos municípios apresentam características bem distintas ao longo de seus domínios.

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 porta-a-porta assemelha-se ao procedimento clássico de coleta normal de lixo. Porém, os veículos coletores percorrem as residências em dias e horários específicos que não coincidam

com a coleta normal. Os moradores colocam os recicláveis nas calçadas, acondicionados em contêineres distintos. O tipo e o número de contêineres variam de acordo com o sistema implantado.

A coleta seletiva em *PEV – Postos de Entrega Voluntária* ou em *LEV – Locais de Entrega Voluntária* utiliza normalmente contêineres ou pequenos depósitos, colocados em pontos fixos no município, onde o cidadão, espontaneamente, deposita os recicláveis (Figura 1).

Nos PEV ou LEV, cada material deve ser colocado num recipiente específico, onde deve constar o nome do reciclável. Normalmente, estes recipientes são coloridos e em cores que acompanham uma padronização já estabelecida, ou seja:

- verde para vidro;
- azul para papel;
- vermelho para plástico;
- amarelo para metais.

A modalidade de coleta seletiva em postos de troca se baseia, como o nome já diz, na troca do material entregue por algum bem ou benefício, que pode ser alimento, vale-transporte, vale-refeição descontos, etc.

Atualmente, a participação dos catadores na coleta seletiva tem grande importância para o abastecimento do mercado de materiais recicláveis e, consequentemente, como suporte para a indústria recicladora. Um programa de coleta seletiva deve contemplar o trabalho destes indivíduos, mesmo que não haja apoio direto a esta atividade. Este assunto será melhor discorrido neste Capítulo no item 2.6 – Catadores.

A coleta seletiva normalmente exige a construção de *Galpões de Triagem*¹, onde os materiais recicláveis são recebidos, separados, caso estejam misturados, prensados ou picados e enfardados ou embalados. Em alguns casos, pode ser feito um pré-beneficiamento, que irá agregar valor à sucata a ser comercializada, como, por exemplo, no caso de plásticos, a retirada de rótulos, lavagem, separação por cor, etc.

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.



Fonte: CEMPRE¹

Figura 1 – PEVs – Postos de Entrega Voluntária

O sucesso da coleta seletiva está diretamente associado aos investimentos feitos para sensibilização e conscientização da população. Normalmente, quanto maior a participação voluntária em programas de coleta seletiva, menor é seu custo de administração. Não se pode esquecer também a existência do mercado para os recicláveis.

Os aspectos positivos da coleta seletiva são:

- proporciona boa qualidade dos materiais recuperados, uma vez que estes estão menos contaminados pelos outros materiais presentes no lixo;
- estimula a cidadania, pois a participação popular reforça o espírito comunitário;
- permite maior flexibilidade, uma vez que pode ser feita em pequena escala e ampliada gradativamente;
- permite articulações com catadores, empresas, associações ecológicas, escolas, sucateiros, etc.;
- reduz o volume do lixo que deve ser disposto.

Os aspectos negativos da coleta seletiva são:

- necessita esquemas especiais, levando a um aumento dos gastos com coleta. Por exemplo, no caso da coleta porta-a-porta, utiliza caminhões especiais que passam em dias diferentes dos da coleta convencional;
- necessita, mesmo com a segregação na fonte, de um centro de triagem, onde os recicláveis são separados por tipo.

2.1 Enfoque Econômico-Financeiro da Coleta Seletiva

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

Nesse caso, classificam-se os custos em: custos de capital e de operação/manutenção.

Os custos de capital compreendem terrenos, instalações, veículos, conjuntos de contêineres para segregação, projeto do sistema e demais custos iniciais.

Os custos de operação/manutenção compreendem: salários e encargos, combustíveis e lubrificantes, água, energia, seguros, licenças, manutenção, administração, divulgação, serviços de terceiros, *leasing* de equipamento, etc.

Os benefícios classificam-se em: receitas, economias e sociais. As receitas são o resultado da venda dos materiais coletados. As economias correspondem à redução no custo de transferência e disposição final desses materiais (quanto mais materiais são desviados do aterro, maior é a economia para a Prefeitura). Os benefícios sociais resumem-se principalmente na geração de empregos diretos e indiretos.

A análise de custo-benefício é feita da seguinte forma:

- determina-se o período de apuração (geralmente, um ano);
- determina-se a vida útil do empreendimento, expressa em número de períodos;
- projetam-se, para cada período, os custos de operação/manutenção e os benefícios esperados. O resultado líquido de cada período é trazido ao valor da época em que o investimento inicial (custos de capital) é realizado. Utiliza-se taxa de 12% ao ano para esta operação;
- compara-se a relação entre a soma dos benefícios e os custos envolvidos.

2.2 Medição do Benefício da Coleta Seletiva

Como a meta principal de um programa de coleta seletiva é a redução de quantidade de lixo aterrado, é importante medir o seu impacto. O número resultante deste cálculo chama-se *taxa de desvio do lixo*.

Para se calcular a taxa de desvio da coleta seletiva, deve-se usar como base a geração de lixo domiciliar dos bairros onde há coleta seletiva. Deve-se comparar esta cifra ao total coletado pelo programa especial, utilizando a Expressão 1.

Expressão 1 – Taxa de desvio do lixo

$$\frac{\text{Tonelada / mês da coleta seletiva}}{\text{t/mês da coleta seletiva} + \text{t/mês da coleta regular}} \times 100 = \% \text{ de material desviado do aterro}$$

ATENÇÃO!

A análise custo-benefício não é o único indicador de viabilidade da coleta seletiva, já que não leva em conta os benefícios sociais e ambientais decorrentes da reciclagem.

2.3 Redução dos Custos da Coleta Seletiva

A seguir, são apresentadas algumas ações que podem reduzir o custo da coleta seletiva.

- aprimorar sua divulgação: quanto mais constante a divulgação, mais material será separado pela comunidade;
- organizar catadores, que podem fazer uma triagem a um custo mais baixo do que a Prefeitura. Cooperativas são uma forma de gerar mais renda para esta faixa da população;
- promover iniciativas espontâneas, pois a Prefeitura não precisa fazer tudo. Associações de bairro, grupos ecológicos, entidades religiosas e instituições também podem organizar iniciativas de coleta e educação ambiental;
- fazer estoques, quando possível, para épocas de altas de preço;
- usar a melhor tecnologia e a mais apropriada ao tamanho da cidade e ao volume de lixo a ser separado e coletado.

2.4 Monitoração da Coleta

Alguns controles são necessários para a monitoração da coleta de recicláveis, sendo estes:

- tonelagem total coletada diariamente;
- tonelagem de material estocado;
- tonelagem de material vendido;
- tonelagem de rejeito;
- total de horas de trabalho dos caminhões;
- total de quilômetros rodados;
- consumo de combustível;
- mão-de-obra envolvida.

2.5 Comercialização dos Recicláveis

Algumas ações facilitam a comercialização bem-sucedida de recicláveis, sendo elas:

- planejar todo o sistema;
- conhecer o perfil qualitativo e quantitativo do lixo;
- estimar custos;
- pesquisar mercado (contatar sucateiros e recicladores);
- auxiliar na gestão técnica e administrativa;
- acompanhar receita/despesa obtida.

O CEMPRE possui um banco de dados com os nomes de cerca de 2 mil sucateiros e recicladores em todo o Brasil. Este banco de dados contém os materiais comprados e vendidos por estas firmas e pode ser acessado via Internet (ver Anexo B) ou por consulta direta a esta organização. As consultas podem ser solicitadas por região e/ou por material.

O CEMPRE também dispõe de um banco de publicações sobre embalagem e meio ambiente, EcoData, montado conjuntamente com o Centro de Tecnologia de Embalagens de Alimentos – CETEA, em Campinas. O EcoData contém mais de 8 mil artigos sobre reciclagem e outras formas de tratamento de lixo.

2.6 Catadores

Há anos, a reciclagem é sustentada no Brasil, assim como em outros países em desenvolvimento, pela catação informal de papéis e outros materiais achados nas ruas e nos lixões. Estima-se hoje no Brasil a atuação de cerca de 800 mil catadores responsáveis pela coleta de vários tipos de materiais².

Ao contrário do que se imagina, os catadores têm remuneração acima da média brasileira e não são mendigos. Estudos em várias cidades do Brasil já comprovam que a renda de catadores de rua, na maioria dos casos, supera o salário mínimo. Muitos destes trabalhadores já tiveram outras funções em empresas, mas, por algum motivo, ficaram desempregados e aderiram à função de catador.

O benefício que os catadores de rua trazem para a limpeza urbana é grande, mas geralmente passa despercebido. Eles coletam recicláveis antes do caminhão da Prefeitura passar e, portanto, reduzem os gastos com a limpeza pública. Os materiais que são encaminhados para a indústria geram empregos e poupam recursos naturais.

2.6.1 Catadores no lixão

Um dos principais desafios políticos e sociais do fechamento de um lixão é a questão do futuro dos catadores que vivem em torno do local. A catação em lixão representa uma opção de vida para milhares de brasileiros. Muitos não conhecem outra forma de viver, tendo sido criados em barracos em volta do lixo. Portanto, o fechamento de um lixão cria grandes transtornos para as comunidades da periferia que vivem próximas ao local.

Estes grupos obtêm sua renda através da catação dos componentes recicláveis do lixo, que são vendidos a sucateiros. Incluindo as famílias destes trabalhadores e os pequenos comerciantes, estas comunidades são numerosas no Brasil.

A renda do catador de lixão varia em função da composição do lixo e do número de catadores. Quanto mais embalagens forem encontradas no lixo, mais eles ganham. Em muitos locais, a renda supera o salário mínimo. As condições de trabalho, embora extremamente insalubres, proporcionam uma liberdade de horário de trabalho e de comportamento inexistente em empregos fixos. Portanto, muitos catadores recusam oportunidades de empregos na cidade, preferindo ficar no lixão, segundo pesquisas.

A resposta destes grupos a um fechamento do lixão pode ser violenta. Já houve casos no Brasil de depredação de caminhões de lixo que tentaram entrar na área do antigo lixão que foi transformado em aterro. Para evitar tais problemas, deve-se procurar entender melhor o perfil dos catadores e, ao invés de tentar mudar a atividade exercida por eles, deve-se modificar a forma do trabalho dos mesmos. Por exemplo, pode-se formar uma associação que funcionaria em um galpão próximo ao antigo lixão/novo aterro sanitário, onde os catadores retirariam do lixo os componentes mais valiosos, evitando, assim, a entrada destes no interior do lixão ou aterro.

Agindo desta forma, esta comunidade teria uma continuidade de renda e a Prefeitura reduziria a quantidade de lixo jogado ou aterrado. Ainda, esta associação pode se transformar em uma cooperativa, onde os cooperados podem negociar maiores volumes de recicláveis e elevar os seus rendimentos. Por fim, a mudança traria vantagens significativas do ponto de vista sanitário e relacionado à segurança dos catadores durante a execução do seu trabalho.

2.6.2 Cooperativas de catadores

A administração pública, em conjunto com uma entidade de assistência às populações carentes, pode incentivar a formação de associações de catadores, formalizando uma atividade de longa data marginal, auxiliando com a dotação de uma infra-estrutura mínima e ajudando a resgatar a cidadania desse segmento excluído. Neste sentido, o CEMPRE, a Organização de Auxílio Fraternal – OAF, a Cooperativa dos Catadores Autônomos de Materiais Recicláveis – COOPAMARE e o Serviço Nacional de Aprendizagem Comercial – SENAC criaram um *kit* educativo para formação de cooperativas: “Cooperar Reciclando – Reciclar Cooperando”.

A organização desses trabalhadores pode ajudar a racionalizar a coleta seletiva e triagem, reduzindo custos e aumentando o fluxo de materiais recicláveis. Para este objetivo, a Prefeitura deve incentivar a formação de cooperativas de catadores. Exemplos de sucesso são:

- a COOPAMARE, no município de São Paulo, que, com cerca de cinquenta cooperados, foi montada por uma iniciativa espontânea da OAF, entidade dirigida para as populações de rua;
- a ASMARE – Associação dos Catadores de Papel, Papelão e Materiais Reaproveitáveis, no município de Belo Horizonte.

A criação do citado *kit* educativo tem por objetivo ajudar os catadores na formação de cooperativas e, conseqüentemente, aumentar os seus ganhos e se integrarem à sociedade, fornecendo as ferramentas para que uma entidade religiosa, comunitária ou assistencial possa dar um curso de aproximadamente 15 aulas a um grupo determinado de catadores. O curso permite alcançar vários objetivos: capacitar mais os que atuam no setor, para transferir sua experiência a outras comunidades; firmar o conceito de que os catadores de papel formam uma categoria profissional; evidenciar o caráter de utilidade pública dos serviços prestados por esta categoria.

A estrutura do curso está baseada em 11 módulos: relações humanas, limpeza pública, saúde do catador, trabalhando no trânsito, reciclagem, princípios do cooperativismo, cooperativa funcionando, ações de melhoria, análise de processos, gestão do dia a dia e aspectos financeiros⁴.

2.7 A Coleta Seletiva no Brasil

A coleta seletiva no Brasil tem aumentado significativamente, sendo mais intensa nos últimos cinco anos. Em 1994, 81 municípios faziam a coleta seletiva em escala significativa. Em 2004, esse número avançou para 237 e, em 2014, para 927. Em 2016, o número chegou a 1.055 (quase 19% do total de municípios do país)⁴.

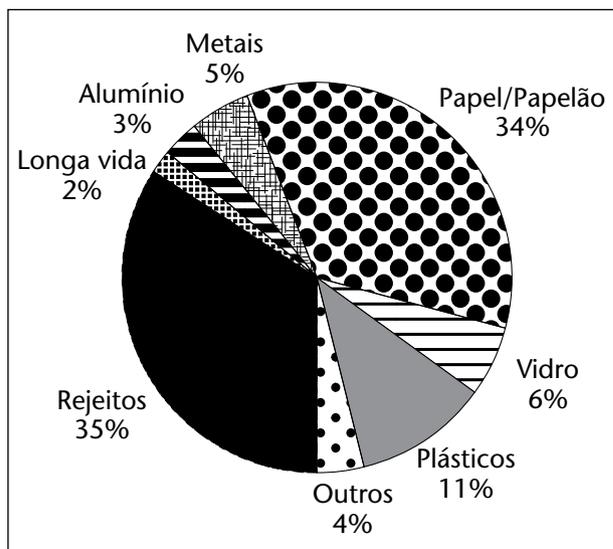
A Tabela 1 apresenta o perfil da coleta seletiva para alguns dos municípios brasileiros que possuem uma estrutura consolidada para este tipo de coleta.

Tabela 1 – Coleta seletiva para alguns municípios

Município	Coleta Seletiva (t/mês)	Custo da Coleta Seletiva (R\$/t)
Itabira (MG)	332	562
Brasília (DF)	3.700	257
Campinas (SP)	560	514
Curitiba (PR)	3.010	568
Florianópolis (SC)	1.100	765
Manaus (AM)	1.890	609
Porto Alegre (RS)	2.100	300
São José dos Campos (SP)	1.261	211
Santos (SP)	437	903
Londrina (PR)	1.049	598
Santo André (SP)	320	422
Rio de Janeiro (RJ)	959	850

Fonte: CEMPRE - Pesquisa Ciclossoft 2014³

A composição média em peso dos materiais recicláveis coletados nas cidades apresentadas é mostrada na Figura 2.



Fonte: CEMPRE - Pesquisa Ciclossoft 2016⁴

Figura 2 – Recicláveis da coleta seletiva

O custo médio da coleta seletiva no Brasil diminuiu de US\$ 240.00/t em 1994 para US\$ 221.00/t em 2008 e, por sua vez, para US\$ 102.49 em 2016⁴. Entretanto, deve ser ressaltado que a coleta seletiva não se sustenta apenas como receita oriunda da venda dos materiais recicláveis.

3 USINAS DE TRIAGEM

As Usinas de Triagem são usadas para a separação dos materiais recicláveis do lixo proveniente da coleta e transporte usual.

Conjuntamente com a Usina de Triagem, é comum existir a compostagem da fração orgânica do lixo, uma vez que esta última requer uma separação prévia. A instalação de uma Usina de Triagem, sem a compostagem da fração orgânica do lixo, pode vir a ser um processo oneroso e sem grande retorno do ponto de vista ambiental.

As Usinas de Triagem oferecem uma maneira de reduzir sensivelmente a quantidade de resíduos enviados ao aterro, atingindo taxas de 50%, quando bem gerenciadas. A Figura 3 mostra a foto de uma usina de triagem

Assim como no caso da coleta seletiva, deve haver um mercado para os materiais separados, tanto orgânicos quanto inorgânicos.



Figura 3 – Usina de Triagem

Os pontos positivos de uma Usina de Triagem são:

- não requer alteração do sistema convencional de coleta, apenas a mudança no destino do caminhão que passa a parar em uma Usina de Triagem, ao invés de seguir direto para o lixão ou aterro;
- possibilita o aproveitamento da fração orgânica do lixo, pela sua compostagem.

Os pontos negativos de uma Usina de Triagem são:

- investimento inicial em equipamentos que vão constituir a Usina (existem vários tipos de equipamentos de separação, e ainda há debates sobre as melhores técnicas de operação);
- necessidade de técnicos capacitados para operar a Usina (investimento em treinamento);
- a qualidade dos materiais separados da “fração orgânica” e potencialmente recicláveis não é tão boa quanto da coleta seletiva, devido à contaminação por outros componentes do lixo. No caso do papel, por exemplo, a

contaminação, na maioria das vezes, impede sua reciclagem.

3.1 Medição do Benefício de uma Usina de Triagem

Como a meta principal de uma Usina de Triagem é a redução do lixo aterrado, torna-se imprescindível calcular o benefício desta operação. A taxa de desvio resultante dará uma indicação da eficácia da usina.

Para se calcular esta taxa de desvio, deve-se considerar a quantidade de lixo levada mensalmente ao local para tratamento. Os componentes deste lixo terão um dos seguintes destinos:

- a) será compostado;
- b) será segregado para reciclagem;
- c) será levado ao aterro como rejeito.

A taxa de desvio é a soma dos itens (a) e (b) dividida pela tonagem de lixo que entrou na usina no mês. A Expressão 2 mostra o cálculo da taxa de desvio.

Expressão 2 – Taxa de desvio em uma Usina de Triagem

$$\frac{\text{tonelada de lixo que foi para compostagem} + \text{tonelada de lixo segregado para reciclagem}}{\text{t/mês processado pela usina}} \times 100 = \% \text{ de material desviado do aterro}$$

Neste cálculo, não estão sendo computadas eventuais perdas ocorridas por degradação e/ou evaporação. Embora não existam estatísticas sobre a média brasileira de desvio de lixo em Usina de Triagem/Compostagem, dados mostram que usinas bem gerenciadas conseguem reduzir pela metade ou mais a quantidade aterrada (ver Capítulo IV – Parte 2: Reciclagem de Matéria Orgânica – Compostagem).

4 MUNICÍPIOS NO INCENTIVO À RECICLAGEM

A Prefeitura conta com três formas para alavancar a reciclagem no seu município, podendo optar por uma ou qualquer combinação das três. Assim, pode ser o agente:

- incentivador de ações para a reciclagem;
- implementador de ações para a reciclagem (por coleta seletiva ou usina de triagem);
- consumidor de produtos reciclados.

4.1 Prefeitura como Agente Incentivador

A atuação da Prefeitura como agente incentivador reforça sua posição enquanto gerente do desenvolvimento municipal. Poderá otimizar seu efetivo de mão-de-obra e equipamento, optando pela terceirização e co-gestão dos serviços públicos, tornando a administração mais ágil e eficiente.

No incentivo às atividades de reciclagem de lixo, a Prefeitura poderá atuar nas seguintes linhas:

- cadastramento de sucateiros e ferros-velhos;
- desenvolvimento de programas específicos afim de disciplinar a ação dos catadores de rua;
- permissão de uso de terrenos públicos municipais ociosos, como áreas para a triagem de materiais recicláveis, coletados por iniciativa de grupos organizados da sociedade;

- organização de campanhas de doação de roupas e objetos a serem reutilizados por pessoas necessitadas;
- criação de espaços (galpões) propícios à troca de objetos e móveis que as pessoas não queiram mais. Os interessados poderão deixar as peças em consignação, ficando a Prefeitura somente com a incumbência da administração do “mercado” ou terceirização dessa atividade;
- redução de impostos para a implantação de indústrias recicladoras não-poluentes no município;
- apoio à organização de uma bolsa de resíduos. Embora a destinação de resíduos industriais não seja competência direta da administração pública local, é mais uma maneira de incentivar o setor privado a participar de programas de coleta seletiva e reciclagem e também reduzir o volume final de lixo disposto no município. As bolsas de resíduos funcionam como canais diretos entre uma fonte geradora, que deseja se desfazer de seus resíduos, e uma empresa ou indústria para a qual aquele resíduo venha a se tornar matéria-prima.

4.2 Prefeitura como Agente Implementador

Como agente implementador de medidas diretas e concretas para o desenvolvimento da reciclagem de lixo, a Prefeitura poderá atuar nas seguintes linhas:

- implementação de coleta seletiva;
- construção e gerenciamento de usinas de triagem e compostagem;
- treinamento e capacitação dos funcionários municipais envolvidos com os serviços de limpeza urbana e coletiva seletiva;
- instituição de uma coordenação municipal de reciclagem;
- instituição de consórcios intermunicipais.

4.3 Prefeitura como Agente Consumidor

A Prefeitura pode usar em sua rotina materiais reciclados, tais como:

- papel reciclado, para ser usado nas repartições públicas, na, forma de blocos, cadernos em escolas-guias, etc.;
- entulho de obras, servindo de agregado na confecção de peças de mobiliário urbano e habitação;
- lixo orgânico transformado em adubo orgânico pelo processo da compostagem, para adubar praças, hortas comunitárias e áreas verdes;
- filme plástico reciclado (saco para lixo, em geral, preto), para ser usado no próprio setor de limpeza urbana (varrição de logradouros);
- escória de alto-forno de siderurgia, para ser usada na confecção de subleito na pavimentação de vias. Solução vantajosa aos municípios que tenham indústria siderúrgica instalada nele ou em sua proximidade;
- borracha de pneus velhos, para asfaltar estradas e contenção de encostas, entre outras;
- “madeira plástica” (ver Capítulo IV – Processamento do Lixo – Parte 4: Reciclagem de Plástico), para confecção de bancos de praça, mourões de cerca, etc. (Figura 4).



Foto: André Vilhena

Figura 4 – Objeto feito de “madeira plástica”

BIBLIOGRAFIA

1. CEMPRE. Guia da Coleta Seletiva de Lixo, 2014, 2ªEd.
2. MNCR – Movimento Nacional dos Catadores de Materiais Recicláveis, 2014.
3. CEMPRE. Pesquisa Ciclossoft, 2014. <http://cempre.org.br/ciclossoft/id/2>
4. CEMPRE. Pesquisa Ciclossoft, 2016.
5. CEMPRE. Kit “Cooperar Reciclando, Reciclar Cooperando”, 2012, 2ªEd.

CAPÍTULO IV

PROCESSAMENTO DO LIXO

PARTE 2 – RECICLAGEM DE MATÉRIA ORGÂNICA (COMPOSTAGEM)

LIXO MUNICIPAL
MANUAL DE GERENCIAMENTO INTEGRADO

1 INTRODUÇÃO

Dá-se o nome de compostagem ao processo biológico de decomposição da matéria orgânica contida em restos de origem animal ou vegetal. Esse processo tem como resultado final um produto – o composto orgânico – que pode ser aplicado ao solo para melhorar suas características, sem ocasionar riscos ao meio ambiente.

Há muito tempo a compostagem é praticada no meio rural, utilizando-se de restos vegetais e esterco animal. Pode-se, também, utilizar a *fração orgânica do lixo domiciliar*, mas de forma controlada, em instalações industriais chamadas *usinas de triagem e compostagem*. No contexto brasileiro, a compostagem tem grande importância, uma vez que cerca de 50% do lixo municipal é constituído por matéria orgânica.

Vantagens da compostagem:

- redução de cerca de 50% do lixo destinado ao aterro;
- economia de aterro;
- aproveitamento agrícola da matéria orgânica;
- reciclagem de nutrientes para o solo;
- processo ambientalmente seguro;
- eliminação de patógenos;
- economia de tratamento de efluentes.

2 PROCESSO DE COMPOSTAGEM

A compostagem é a decomposição aeróbia da matéria orgânica que ocorre por ação de agentes biológicos microbianos na presença de oxigênio e, portanto, precisa de condições físicas e químicas adequadas para levar à formação de um produto de boa qualidade.

O processo de compostagem pode ocorrer por dois métodos:

- método natural: a fração orgânica do lixo é levada para um pátio e disposta em pilhas de formato variável. A aeração necessária para o desenvolvimento do processo de decomposição biológica é conseguida por revolvimentos periódicos, com auxílio de equipamento apropriado. O tempo para que o processo se

complete varia de três a quatro meses;

- método acelerado: a aeração é forçada por tubulações perfuradas, sobre as quais se colocam as pilhas de lixo, ou em reatores, dentro dos quais são colocados os resíduos, avançando no sentido contrário ao da corrente de ar. Posteriormente, são dispostos em pilhas, como no método natural. O tempo de residência no reator é de cerca de quatro dias e o tempo total da compostagem acelerada varia de dois a três meses.

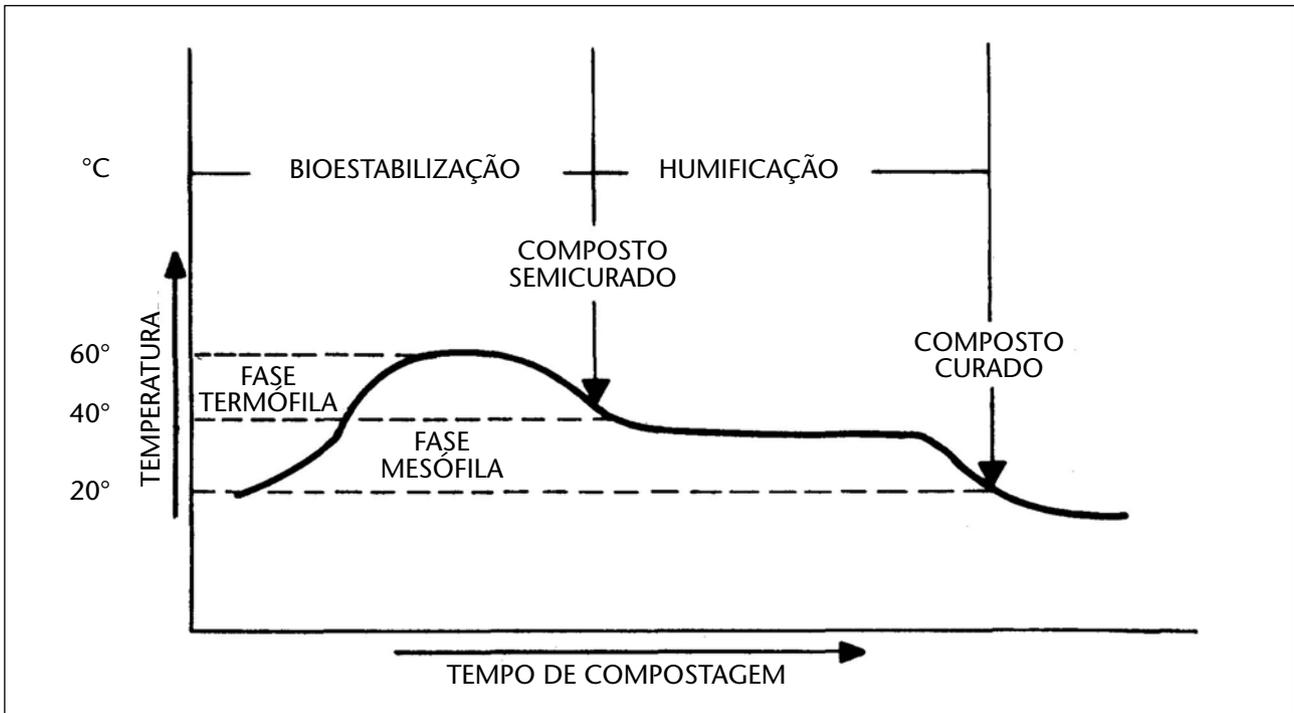
No início da decomposição do material orgânico, desenvolvem-se microrganismos que apresentam uma fermentação ácida e o pH torna-se mais baixo, o que é favorável à retenção de amônia. Na fase seguinte, os ácidos são consumidos por outros agentes biológicos, elevando o pH. O composto orgânico deve ter um pH de, no mínimo, 6,0. Geralmente, o composto curado humificado apresenta valores entre 7,0 e 8,0.

O grau de decomposição ou de degradação do material submetido ao processo de compostagem é indicativo do estágio de maturação do composto orgânico. O aspecto do material – cor, odor e umidade – dá indicações. Assim, a cor final é preta; o odor, inicialmente acre, passa para o de terra mofada e a umidade é reduzida.

Para fins práticos, são dois os principais graus de decomposição do material submetido ao processo de compostagem: *semicurado* ou tecnicamente bioestabilizado e *curado* ou humificado. O primeiro indica que o composto já pode ser empregado como fertilizante sem causar danos às plantas; o segundo indica que está completamente degradado e estabilizado, com qualidade apropriada para ser utilizado. A evolução da cura pode ser vista na Figura 1.

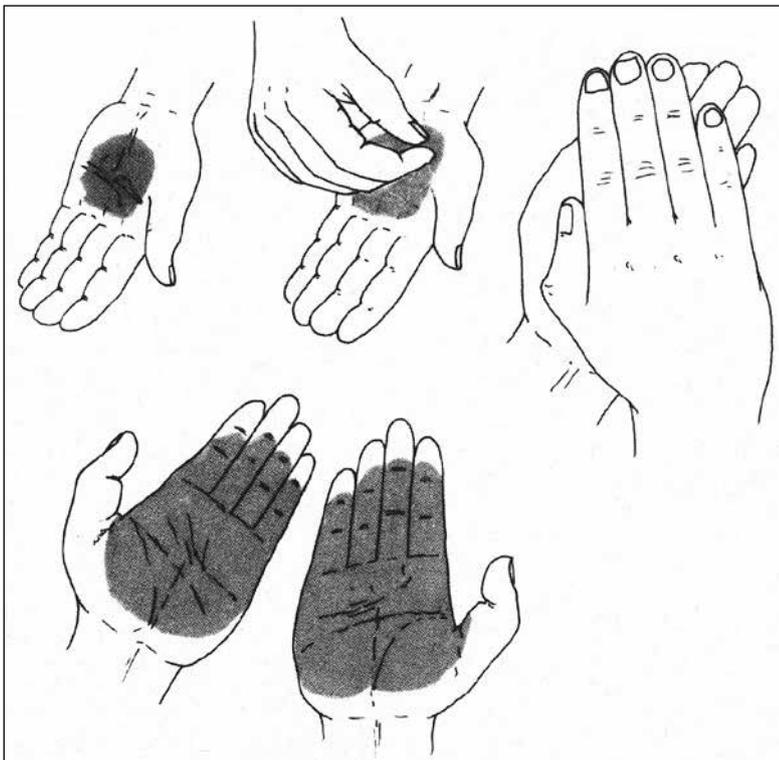
Em laboratório, pode-se avaliar o grau de maturidade do produto por determinações de carbono total (C) e oxidável, nitrogênio total (N) e amoniacal, e cálculo da relação C/N. Relação C/N igual ou inferior a 18/1 indica que o composto está semicurado, e inferior a 12/1, curado.

O tempo necessário para a compostagem de resíduos orgânicos está associado aos vários fatores que influem no processo, ao método empregado e às técnicas operacionais. A compostagem natural leva



Fonte: KIEHL¹

Figura 1 – Evolução da cura do composto



Fonte: KIEHL¹

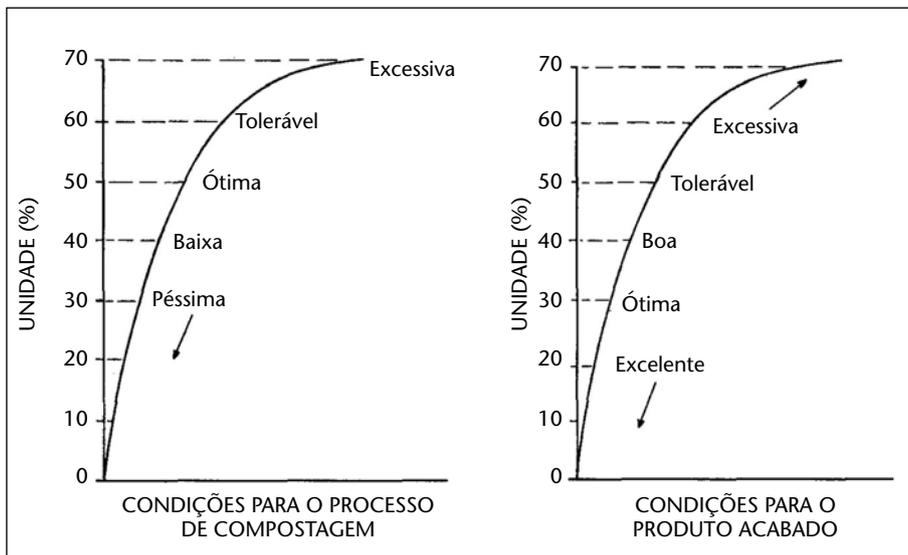
Figura 2 – Teste da mão

de 60 a 90 dias para atingir a bioestabilização e de 90 a 120 dias para humificação. A compostagem acelerada leva de 45 a 60 dias para a semicura e de 60 a 90 dias para a cura completa ou humificação. Essa diferença deve-se basicamente à duração da fase termófila (Figura 1) no processo acelerado, que é reduzida de algumas semanas para dois a quatro dias.

A cura pode também ser determinada no campo pelo “teste da mão”, conforme mostra a Figura 2. Neste, a qualidade do composto é avaliada esfregando-se um pouco do mesmo entre as palmas das mãos: composto de boa qualidade deve deixá-las sujas, soltando-se facilmente.

2.1 Fatores a Serem Observados Durante a Compostagem

- **Aeração** – É necessária para a atividade biológica e, em níveis adequados, possibilita a decomposição da matéria orgânica de forma mais rápida, sem odores ruins. É função da granulometria, da agregação e da umidade dos resíduos.
- **Umidade** – O teor de umidade dos resíduos depende da sua porosidade e grau de compactação. Para uma boa compostagem, a umidade deve se manter em torno de 50%. Se for muito baixa, a atividade biológica é reduzida; se for muito elevada, a aeração é prejudicada e ocorre anaerobiose. Nessa condição forma-se o chorume, líquido negro e de odor desagradável, que escorre das pilhas do material em decomposição. Sua produção é mais elevada quando as leiras de lixo molhado são muito altas, compactando e espremendo as camadas inferiores do resíduo. Em épocas de chuva, a produção de chorume ocorre também por encharcamento do resíduo em decomposição. A compactação e o encharcamento expulsam o ar dos vazios existentes na pilha de lixo e a anaerobiose instala-se, entrando o material em putrefação, com desprendimento de gás sulfídrico e mercaptanas. No final do processo de compostagem, a umidade do composto para uso agrícola deve ser, no máximo, de 40% (Figura 3).



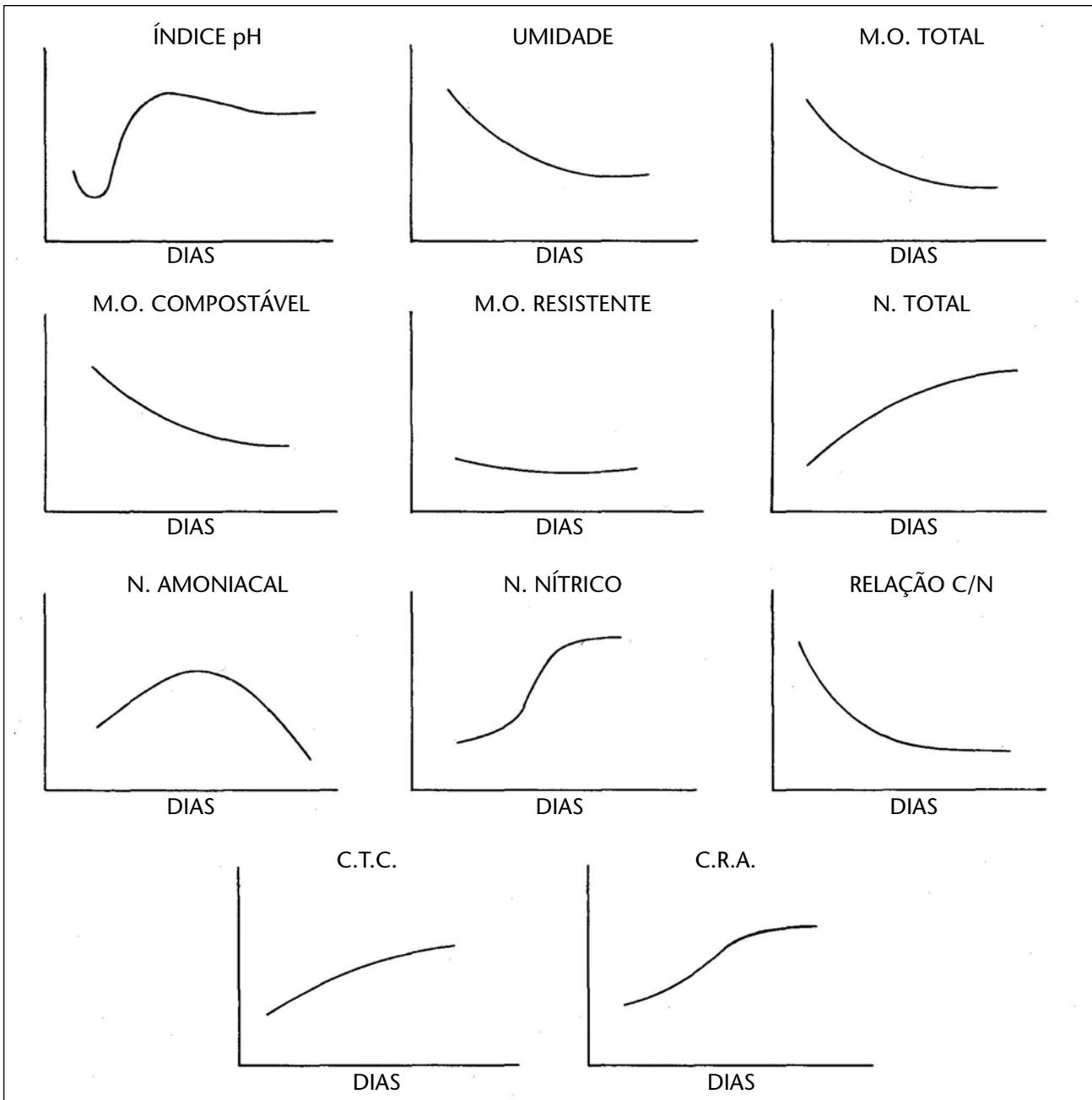
Fonte: KIEHL¹

Figura 3 – A umidade no processo de compostagem e no produto acabado

- **Temperatura** – O processo tem início à temperatura ambiente, mas à medida que a ação microbiana se intensifica com a aeração apropriada, a temperatura se eleva até atingir valores acima de 55-60°C, onde permanece por um período de tempo que depende das características dos resíduos e da operação da usina. Essa fase, denominada termófila, é importante para a eliminação de micróbios patogênicos e sementes de ervas daninhas presentes no material. Segue-se uma fase de abaixamento da temperatura, até faixas de 30-35°C a 45-50°C, onde se dá a bioestabilização da matéria orgânica com relação C/N próxima a 18 e, finalmente, a humificação, onde a relação C/N pode atingir valores inferiores a 12, em temperaturas mesófilas (20 a 35-40°C).
- **Nutrientes** – A relação carbono/nitrogênio (C/N) desejável para o início da compostagem deve ser da ordem de 30/1 e o teor de nitrogênio deve estar entre 1,2 e 1,5%. Ao longo do processo, parte do carbono é transformada em gás carbônico (CO₂) e parte é usada para crescimento microbiano. O nitrogênio fica retido no material como nitrogênio orgânico e inorgânico. Relações C/N elevadas (60/1, por exemplo) demandam maior tempo de compostagem. Se a relação C/N for muito baixa, ou seja, teor de nitrogênio elevado, deve-se incorporar ao material outro resíduo, rico em carbono (restos de vegetais ou podas) para que a compostagem seja adequada. A relação C/N adequada para aplicação do composto na agricultura deve ser, no máximo, de 18/1.

• **pH** – O lixo domiciliar é ácido, com pH na faixa de 4,5 a 5,5. O composto curado humificado tem pH da ordem de 7,0 a 8,0.

A evolução das principais variáveis durante a compostagem segue a tendência apresentada na Figura 4.



Fonte: KIEHL¹

Figura 4 – Tendências de evolução das principais variáveis durante a compostagem (M.O. – Matéria Orgânica; N – Nitrogênio; C.T.C. – Capacidade de Troca Catiônica; C.R.A. – Capacidade de Retenção de Água)

3 USINA DE TRIAGEM E COMPOSTAGEM

Municípios que produzem quantidade muito pequena de lixo devem associar-se a outros, vizinhos, para a melhor utilização de uma usina de triagem e compostagem de lixo.

As instalações de uma usina de triagem e compostagem natural podem ser agrupadas em seis setores: recepção e expedição; triagem; pátio de compostagem; beneficiamento e armazenagem de composto; aterro de rejeitos; sistema de tratamento de efluentes. A denominação usina de triagem e compostagem é comum pela própria inerência dos

dois processos e a Figura 5 apresenta um esquema geral das instalações, apresentando o fluxo do lixo.

3.1 Recepção e Expedição

Esse setor compreende as instalações e os equipamentos de controle dos fluxos de entrada (resíduos, insumos, etc.) e saída (composto, recicláveis, rejeitos). Dependendo do porte e das características do projeto da usina, pode conter os equipamentos, descritos a seguir, para permitir o manuseio inicial do lixo, antes da triagem:

- *Balança rodoviária* – Apesar de existirem usinas sem esse equipamento, é peça fundamental para o acompanhamento da quantidade de lixo recebida e do composto expedido. Podem ser utilizadas balanças mecânicas sim-

ples ou digitais, que fazem automaticamente o registro e o tratamento dos dados obtidos.

- *Pátio de recepção* – Para descarregar o lixo, os caminhões coletores necessitam de um pátio para manobras e descarga. Esse pátio funciona, também, como “pulmão”, recebendo a descarga do lixo quando houver interrupção temporária do funcionamento da usina. Voltando a funcionar, o lixo do pátio será levado para o fosso ou moega.
- *Moega ou tremonha* – Com capacidade de, pelo menos, dois caminhões, construída em chapa de aço grossa, acabamento anticorrosivo, ou em concreto revestido e sem cantos vivos. Equipada com chão movediço, metálico de taliscas serrilhadas, para que o lixo seja descarregado na esteira de triagem.

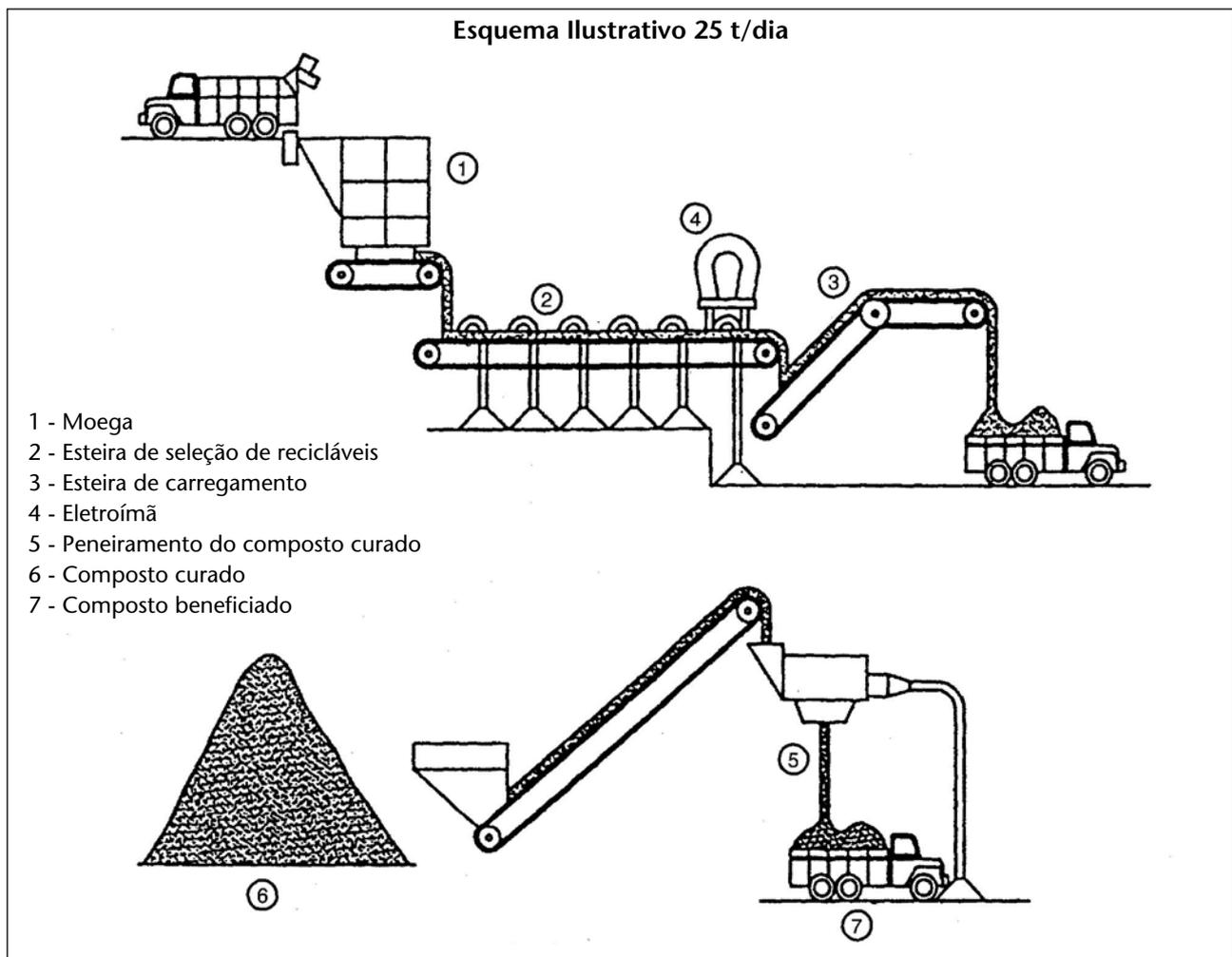


Figura 5 – Esquema geral de uma usina de triagem e compostagem

- *Fosso com braço articulado ou ponte rolante*
– Ambos se prestam para (por meio de sua caçamba hidráulica, provida de um pólipo) apanhar o lixo do fosso e descarregar no equipamento que vem a seguir. O braço articulado é um equipamento mais simples, com capacidade de até 1 m³ de lixo bruto e tem movimentos circulares, mas restritos. A ponte rolante, ao contrário, coleta de cada vez maiores porções de lixo, podendo movimentar-se em dois sentidos, atendendo, com isso, fossos separados de diversas linhas de processamento do lixo. É recomendável sua utilização em usinas para até 200 t/dia.
 - *Fosso com chão movediço* – Neste caso, o lixo é descarregado em fosso, no fundo do qual está instalado o equipamento denominado chão movediço. É constituído de uma esteira de chapas metálicas articuladas, as taliscas (como a esteira de um trator) que, ao se movimentar, arrasta o lixo. Acompanha o equipamento uma peça denominada guilhotina; localizada na saída do fosso, de altura regulável, cuja finalidade é dosar a descarga do lixo para o equipamento seguinte. É recomendável sua utilização em usinas para mais de 300 t/dia.
- Alguns desses equipamentos estão representados nas Figuras 6 a 11.



Fonte: LOGA. São Paulo/SP

Figura 6 – Descarga do lixo no fosso



Fonte: Ivo Milani (CEMPRE). Rio de Janeiro/RJ

Figura 7 – Transferência do lixo do fosso para a moega



Fonte: Ivo Milan (CEMPRE). Rio de Janeiro/RJ

Figura 8 – Recepção do lixo na esteira de seleção de recicláveis



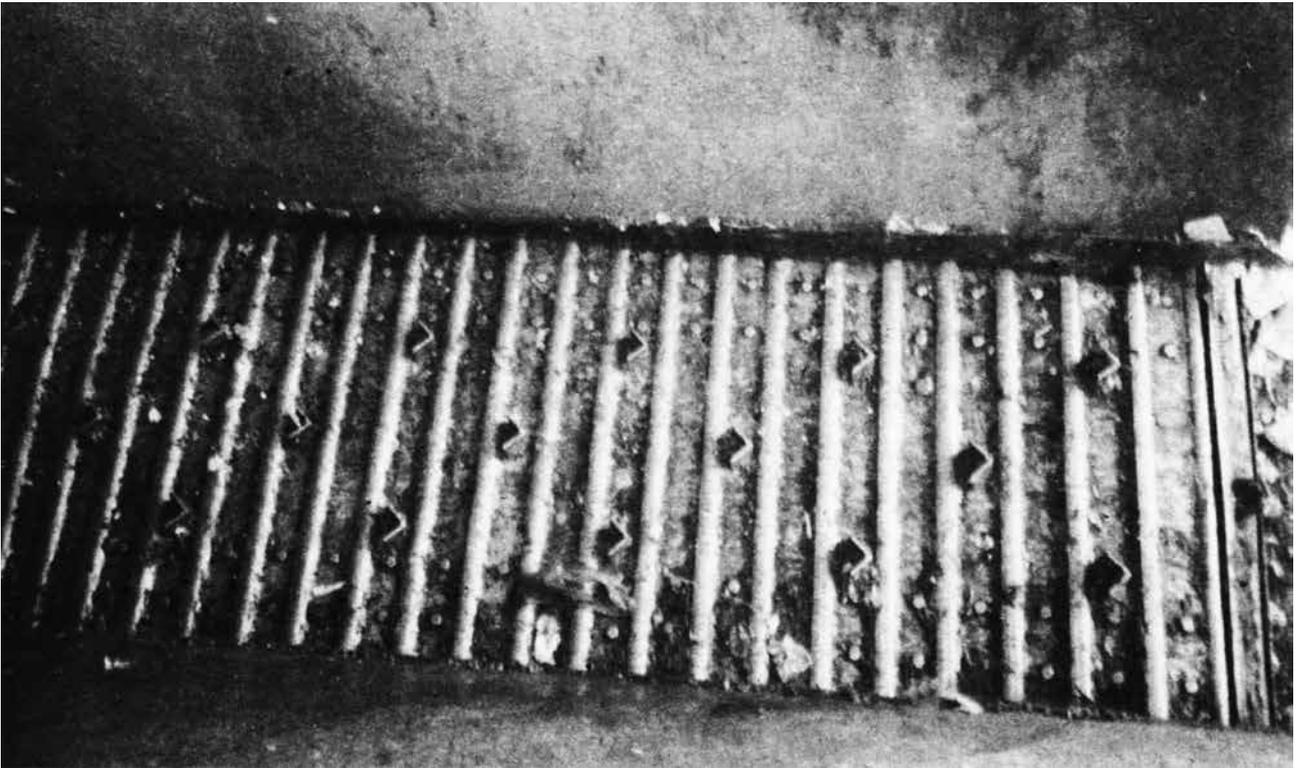
Fonte: IPT

Figura 9 – Guincho hidráulico com caçamba tipo pólipo



Fonte: IPT

Figura 10 – Moega de concreto com esteira metálica



Fonte: IPT

Figura 11 – Esteira metálica com taliscas

3.2 Triagem

Esse é o local onde se faz a separação das diversas frações do resíduo. O equipamento principal é a esteira de triagem (Figuras 12 a 15), revestida com borracha, que desliza por roletes, movimentando o lixo de uma extremidade à outra permitindo, assim, a retirada dos materiais recicláveis. Este material é descarregado em carrinhos ou vagonetes de rodas e levado para as baias de recicláveis ou para o seu beneficiamento.

Para se retirar o máximo possível de metais, principalmente pilhas elétricas, a esteira deve ser dotada, no seu final, de um separador magnético (Figura 16).



Fonte: Ivo Milan (CEMPRE). São Paulo/SP

Figura 12 – Triadores de materiais recicláveis



Fonte: Ivo Milani (CEMPRE). São Paulo/SP
Figura 13 – Catadores



Fonte: Ivo Milani (CEMPRE). São Paulo/SP
Figura 14 – Esteira



Fonte: Ivo Milani (CEMPRE). Guarulhos/SP
Figura 15 – Esteira de triagem



Fonte: IPT
Figura 16 – Polia magnética

GRAU DE TRIAGEM

A necessidade de maior ou menor grau de triagem (eficiência de recuperação de recicláveis) é função do mercado de recicláveis. Se em uma determinada região não existir mercado para algum material, este deve ser incorporado aos rejeitos.

Sempre haverá utilização para o composto, pelo menos em ajardinamento e arborização de logradouros públicos; a venda do composto orgânico pode ser ampliada por uma boa campanha de divulgação das suas qualidades.

Algumas usinas dispõem de moinho ou triturador de facas ou martelos, instalado após a esteira de catação. Esse equipamento tem a finalidade de reduzir partículas grosseiras.

Porém, em grande parte das usinas, esse equipamento foi desativado devido aos seguintes problemas: aumento de interrupções no funcionamento da triagem, para manutenção corretiva; alto custo de manutenção; alto consumo de energia; introdução de excesso de inertes no composto (cacos de vidro e porcelana); redução excessiva da granulome-

tria do resíduo, que acarreta compactação das leiras, gerando produção de chorume e aglomeração do composto (torrões).

3.3 Pátio de Compostagem

O pátio de compostagem – o equipamento mais importante da usina é a área onde a fração orgânica do lixo sofre decomposição microbiológica, transformando-se em composto. Deve ser impermeabilizado e dotado de captação e drenagem de efluentes que deverão ser destinados ao respectivo sistema de tratamento. As águas pluviais devem ser captadas e desviadas para o seu sistema correspondente.

Na maioria dos casos, a fração orgânica é disposta em pilhas ou leiras cônicas (Figuras 17 e 18) ou trapezoidais, e piramidais (Figura 19 e 20), que devem ser revolvidas periodicamente até obter-se a cura do composto.

Opcionalmente, a compostagem em leiras pode ser acelerada, insuflando-se ou promovendo a remoção do ar das leiras por meio de compressores ou exaustores.



Fonte: Laboratório de Engenharia Sanitária e Ambiental (LESA), UFV
Figura 17 – Pátio: leira cônica



Fonte: Laboratório de Engenharia Sanitária e Ambiental (LESA), UFV
Figura 18 – Pátio: leira cônica



Fonte: CEPAGRO (Centro de Estudos e Promoção da Agricultura de Grupo)
Figura 19 – Pátio: leira piramidal



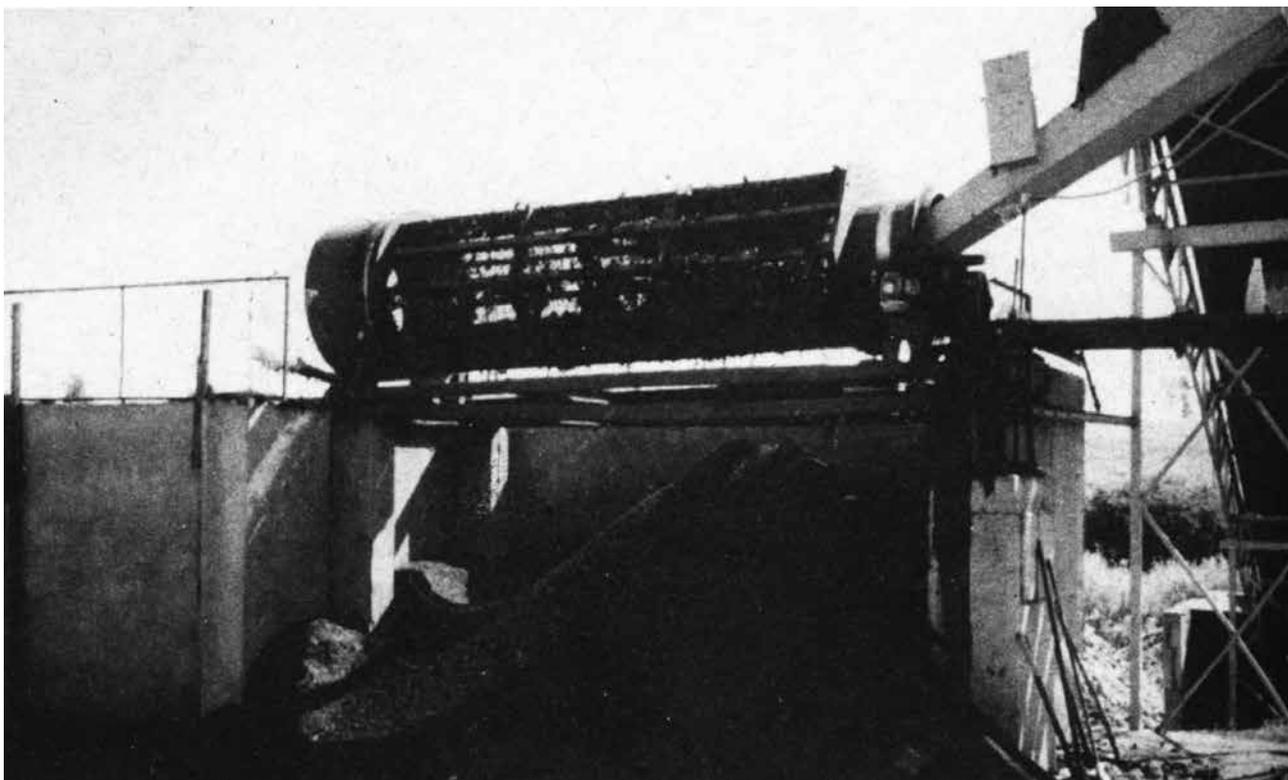
Fonte: CEPAGRO (Centro de Estudos e Promoção da Agricultura de Grupo)

Figura 20 – Pátio: leira piramidal

3.4 Beneficiamento e Armazenagem

O beneficiamento do composto curado consiste em peneirá-lo, retirando-se materiais indesejáveis (cacos de vidro, etc.), dando-lhe menor granulometria e tornando-o manuseável para o agricultor (Figura 21).

O beneficiamento dos materiais recicláveis consiste em prensá-los e enfardá-los para facilitar seu manuseio e transporte (Figura 22). A armazenagem dos produtos beneficiados deve ser feita em local protegido de intempéries.



Fonte: IPT

Figura 21 – Peneira de beneficiamento do composto curado



Fonte: Ivo Milani (CEMPRE). Guarujá/SP
Figura 22 – Prensas para recicláveis

3.5 Aterros de Rejeitos

Os materiais volumosos e os rejeitos da seleção do lixo e do beneficiamento do composto devem ser encaminhados a um aterro de rejeitos. Esse aterro deve ser compatível com as características do rejeito e ter sua localização aprovada por órgãos responsáveis pelo meio ambiente. No Capítulo V – Disposição Final do Lixo são apresentados maiores detalhes sobre a construção e operação de aterros.

ECONOMIA DE ATERRO

A usina de triagem e compostagem acarreta uma diminuição da ordem de 70% da tonelagem de lixo, com a conseqüente redução de custos e aumento da vida útil da área do aterro.

3.6 Sistema de Tratamento de Efluentes

O setor de tratamento de efluentes recebe e trata as águas residuárias da lavagem dos equipamentos

da usina, da lavagem de veículos e os líquidos provenientes do pátio de compostagem e do aterro de rejeitos, quando este estiver localizado na mesma área. Os efluentes de usinas de compostagem têm características similares ao chorume originado em aterros sanitários, porém mais diluídos. A exemplo do tratamento de chorume, o fator determinante no dimensionamento do tratamento desses percolados deriva da pluviosidade do local (ver Capítulo VI – Tratamento de Efluentes Líquidos de Aterros Sanitários).

3.7 Outros Equipamentos

Biodigestores ou bioestabilizadores são equipamentos que aceleram o processo de compostagem por aeração forçada. Dessa maneira, a fase termófila tem seu período de 15 a 30 dias reduzido para 48 a 72 horas, diminuindo a área requerida para o pátio de compostagem. É um equipamento importante para o processamento de grandes quantidades de resíduo.

3.8 Outras Instalações

Além das instalações mencionadas, outras são necessárias para permitir o funcionamento adequado da usina, como, por exemplo:

- instalação elétrica;
- instalação hidráulica, com depósito elevado para limpeza e sistema contra incêndio;
- portaria, para controle de entrada e saída de pessoal, de veículos e materiais;
- refeitório, vestiário e sanitários;
- escritório administrativo;
- oficina mecânica e almoxarifado;
- galpão, para beneficiamento e armazenamento de fardos de papel e papelão;
- baias descobertas, para os demais recicláveis.

Outras instalações opcionais podem ainda ser incluídas, tais como viveiro de mudas, canteiro para vermicompostagem e museu do lixo. Além disso é recomendável a inclusão de sala para reuniões com escolas e outros grupos. Caso proceda-se à incineração dos resíduos dos serviços de saúde e/ou industriais, estas dependências deverão ser isoladas das instalações da usina. Deve-se atentar para os cuidados de manuseio, de modo a evitar problemas de higiene e segurança.

4 TIPOS DE LIXO QUE PODEM IR PARA A USINA DE COMPOSTAGEM

O lixo municipal inclui resíduos domiciliares, comerciais, de varrição, podas de jardins, etc.

A usina de compostagem só deve processar o lixo domiciliar e comercial (restaurantes, lojas e centros comerciais). Eventualmente, pode processar podas de jardim, desde que devidamente trituradas. Não deve processar os resíduos da varrição, muito menos os de serviços de saúde, sendo estes destinados ao aterro e à incineração, respectivamente.

O lixo domiciliar tem composição variável, conforme a estação do ano e as características diversas de cada localidade, em função dos aspectos socioeconômicos e culturais da população. Gericamen-

te, tem cerca de 50% de seu peso constituído de matéria orgânica, contendo sobras de cozinha e restos de origem vegetal e animal, além de papel, papelão e outros materiais passíveis de se decompor biologicamente.

CARACTERÍSTICAS NECESSÁRIAS DA FRAÇÃO ORGÂNICA DO LIXO PARA O PROCESSO DE COMPOSTAGEM

- pH – é tipicamente ácido. O ideal é estar próximo da neutralidade;
- teores de carbono (C) e nitrogênio (N) para que a relação C/N seja da ordem de 30/1;
- granulometria – o resíduo deve ter granulometria adequada para o processo, para garantir boa aeração das leiras. As dimensões de partícula devem atingir 1,2 cm x 5 cm (1/2" x 2"). Excesso de finos podem acarretar produção de chorume e formação de torrões;
- umidade – deve estar entre 40 e 60%, para possibilitar boa aeração;
- materiais indesejáveis – deve-se evitar dois tipos de material: o que pode prejudicar a qualidade do produto, como cacos de vidro e pilhas, e o que pode prejudicar o processo, como o excesso de filme plástico.

O restante constitui-se de materiais que podem ser reaproveitados – os recicláveis – como vidros, plásticos, metais ferrosos e não-ferrosos (alumínio, cobre, zinco), trapos e couros e, também, outros que podem não ter valor comercial, como louças, madeiras, pedras, pneus, tijolos quebrados, etc. Esses constituem o chamado refugo ou rejeito dos resíduos e devem, conforme sua separação, ser destinados a um aterro sanitário ou de rejeitos.

O esquema da Figura 23 representa o fluxo dos componentes dos resíduos domiciliares no processamento de uma usina de triagem e compostagem.

5 PROJETO DE UMA USINA DE TRIAGEM E COMPOSTAGEM

O projeto de uma usina de triagem e compostagem deve ser executado considerando-se as características socioeconômicas e culturais da população

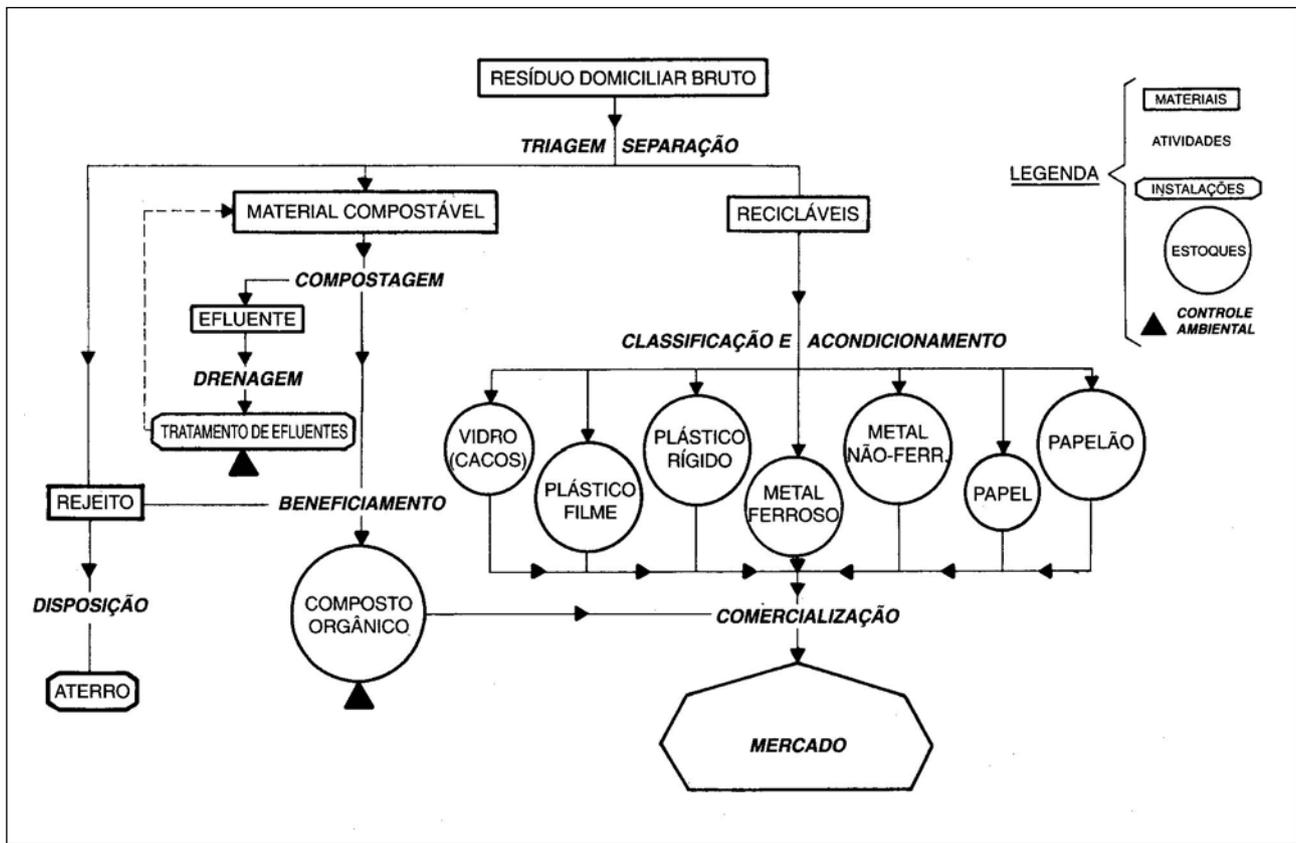


Figura 23 – Fluxo de materiais numa usina de triagem e compostagem

atendida. Deve-se sempre avaliar as diferentes fases do processo e comparar as alternativas, visando:

- economia de aterro;
- redução dos custos de implantação;
- menor custo operacional;
- maior rendimento na separação dos recicláveis;
- maior rendimento na produção do composto;
- maior qualidade do composto;
- menor impacto ambiental.

Os principais fatores a serem considerados são:

- características dos resíduos processados (ver Capítulo II – Origem e Composição do Lixo);
- mercado atual e potencial de composto e recicláveis na região de influência da usina;

- regime de trabalho (geralmente um turno – 44 h semanais);
- dados sobre o crescimento populacional, prevendo o atendimento da população para um período de, no mínimo, 10 anos;
- paradas para manutenção e limpeza da usina aos sábados;
- características do processo escolhido (rendimentos, perdas, tempo de compostagem) e necessidade de área, necessidade de energia elétrica, abastecimento de água;
- características dos equipamentos adquiridos (dimensões, materiais de construção).

No Quadro 1, são apresentadas as principais recomendações de projeto, agrupadas por setor.

Quadro 1 – Recomendações de projeto para uma usina de triagem e compostagem de lixo domiciliar

Setor	Recomendações
Recepção	<p>Prever balança rodoviária.</p> <p>Pátio de recepção de preferência pavimentado, com drenagem.</p> <p>Fosso de descarga deve ser coberto, com captação de chorume.</p> <p>Paredes de moegas e tremonhas devem ter inclinação mínima de 60 graus em relação à horizontal.</p> <p>Fossos devem ter paredes verticais de um lado e inclinadas de outro, para favorecer o escoamento do lixo.</p>
Triagem	<p>Utilizar motores elétricos e componentes mecânicos à prova de pó e de água.</p> <p>Esteira com largura útil de um metro e velocidade entre 6 e 12 m/min, com variador de velocidades, dotada de eletroímã na sua extremidade final.</p>
Pátio de compostagem	<p>Deve-se prever reviradeira de leiras ou pá carregadeira.</p> <p>Tempo de compostagem varia com as características da matéria-prima e do clima da região em geral, em torno de 90 dias em climas quentes e 120 dias em climas frios.</p> <p>No processo acelerado, o tempo de residência no biodigestor deve ser da ordem de 4 dias, reduzindo em cerca de 30 dias a permanência no pátio de compostagem.</p> <p>Utilizar leiras com altura entre 1,2 e 1,8 m; ou maiores, desde que compatíveis com o equipamento de revolvimento.</p> <p>O pátio deve ser impermeabilizado e ter inclinação de cerca de 2/100, para drenagem de chorume e águas pluviais, e captação de águas residuárias para o sistema de tratamento.</p> <p>A área de beneficiamento deve conter peneiramento, secagem e armazenamento de composto curado.</p>
Beneficiamento	<p>Utilizar peneiras rotativas de seção hexagonal; pode-se prever duas malhas, para produzir dois tipos de composto, uma de abertura grossa (20 mm) e outra fina (4 mm).</p> <p>Fardos devem ter peso máximo de 40 kg e ser guardados ao abrigo de chuva.</p> <p>Aterros devem ter capacidade mínima para 10 anos de operação e estar a uma distância máxima de 15 km da usina.</p>
Outras instalações	<p>Outras instalações existentes (administração, instalações de utilidades: vestiário, sanitários, refeitórios, manutenção, almoxarifado) devem situar-se em posições adequadas para facilitar acesso e evitar problemas de perda e contaminação.</p> <p>Sistema de tratamento de efluentes compatível com o tamanho da usina</p>

Fonte: IPT³

5.1 Escolha da Área

Outro fator de grande importância é a escolha do local de instalação da usina. Devem ser consideradas as seguintes informações básicas pelo empreendedor na escolha da área para instalação de uma usina de triagem e compostagem:

- alternativas de localização;
- enquadramento do local em área de interesse ambiental;
- vias e meios de acesso ao empreendimento;
- existência de corpos de água na área de influência;
- uso e ocupação do solo nas áreas vizinhas;
- dados sobre a predominância e direção dos ventos;
- problemas possíveis decorrentes da implantação do empreendimento, como desvalorização imobiliária e intensificação do tráfego na área;
- elaboração de mapas, em escala de 1:10.000, da região da instalação, indicando as informações relacionadas.

5.2 Licença de Instalação

Qualquer empreendimento relativo à destinação do lixo domiciliar ou industrial 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 nº 001/86. Esta Resolução instituiu a apresentação de Estudo de Impacto Ambiental/Relatório de Impacto Ambiental (EIA/RIMA) para o licenciamento dessas instalações.

No Estado de São Paulo, a deliberação de licenciamento está a cargo da Coordenadoria de Planejamento Ambiental da Secretaria do Meio Ambiente.

Para usinas de triagem e/ou reciclagem do lixo domiciliar que processem uma quantidade igual ou maior que 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 da licença de instalação. A Resolução não contempla instalações entre 25 e 99 t/dia, de modo que, nestes casos, o órgão de meio ambiente deverá ser sempre consultado.

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

- empreendimento se destina ao tratamento de lixos domiciliares;
- 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 informações e critérios exigidos são válidos também para instalações de triagem, transbordo e aterros sanitários, incluindo aqueles que operam em conjunto com as usinas.

5.3 Urbanização

Deve-se elaborar um projeto paisagístico para a usina, tornando o local mais agradável, melhorando a possível má impressão que se possa ter, pelo fato de se estar trabalhando com lixo.

Do projeto paisagístico devem constar gramados, canteiros com plantas ornamentais e mudas de árvores contornando todos os limites da usina. Plantar, de preferência, árvores de crescimento precoce, como eucaliptos, pinhos e grevilha. Quando as árvores estiverem crescidas, ocultarão a usina da vista dos passantes, o que é bastante interessante, pois uma usina de lixo é erroneamente considerada uma instalação poluidora. A cerca de árvores em volta da usina rebate o vento, que pode levar odores indesejáveis para as vizinhanças, permitindo sua ascensão por convecção até uma altura que favoreça sua dispersão na atmosfera, e funciona como barreira para materiais leves, tais como plásticos finos, papéis, e contribui também para o aspecto visual da usina.

6 IMPLANTAÇÃO DE UMA USINA DE TRIAGEM E COMPOSTAGEM

6.1 Investimento Necessário

Estima-se que o custo médio de investimento por tonelada diária de capacidade instalada de processamento de resíduos sólidos domiciliares urbanos numa usina de triagem e compostagem, adotado o processo acelerado, seria da ordem de US\$ 25 mil, contra aproximadamente US\$ 11 mil, para o processo natural. Nesses valores, não se leva em consideração o capital necessário para aquisição de terrenos ou desapropriações, devido à variabilidade de preços destes em função do local, nem de terraplenagem e preparo do pátio⁴.

A escolha da alternativa de processo é fortemente influenciada pela escala do problema e pela disponibilidade de área para pátio de cura. De modo geral, o processo acelerado pode ser utilizado em usinas a partir de 200 t/dia e requer menos espaço em pátios, devido ao menor tempo de residência do material nestes.

6.2 Despesas Operacionais

As informações sobre custos operacionais das usinas são bastante imprecisas e variáveis, qualquer que seja o processo considerado. Usinas com capacidade de até 50 t/dia, operando pelo método natural, apresentam valores entre US\$ 6,00 e US\$ 10,00 por tonelada processada, excluídos os custos de manutenção e recuperação/remuneração de capital.

Um modelo conceituado para 95 t/dia supõe cerca de US\$ 20,00 por tonelada processada, considerados todos os custos. Uma usina de compostagem acelerada, processando 110 t/dia e operada pela iniciativa privada, recebe do poder público cerca de US\$ 13,50 (fora despesas de manutenção) por tonelada processada, ficando tanto o composto, quanto os recicláveis como propriedade da Prefeitura. Outra operadora privada cobra de uma Prefeitura do Estado de São Paulo US\$ 18,00 por tonelada processada, incluindo manutenção e ficando com a propriedade dos produtos. Esse preço pode atingir valores de US\$ 35,00/t a US\$ 45,00/t para o processo natural, com capacidade de até 50 t/dia e US\$ 50,00/t a US\$ 80,00/t para o acelerado, com capacidade igual ou superior a 200 t/dia, quando a operadora não fica com a propriedade dos produtos e presta serviços especiais, tais como monitoração do processo, emprego de pessoal altamente qualificado, etc.⁴

6.3 Espaço Físico

O processo acelerado, utilizado em instalações com capacidade a partir de 200 t/dia de processamento, exige menos espaço no pátio de compostagem do que o natural (utilizado até 300 t/dia), devido ao menor tempo de residência do material em processo de biodigestão e maior área para instalações industriais. Instalações administrativas necessitam espaços iguais em ambos os processos, e aterros demandam áreas proporcionais à quantidade de rejeitos. As áreas efetivamente necessárias dependerão da topografia local, do nível de reciclagem, do sistema de tratamento de efluentes e das instalações adicionais.

6.4 Outros Requisitos Administrativos

Cabe enfatizar a necessidade de integração administrativa e institucional das atividades dos serviços de limpeza pública. Isso requer aparelhamento e instrumentalização (legislação) específicos do poder público, tanto na hipótese de operação direta, quanto terceirizada das várias fases e atividades (Capítulo VII – Legislação e Licenciamento Ambiental).

RECOMENDAÇÕES

Os equipamentos e as instalações devem ser executados por firmas qualificadas, utilizando materiais adequados ao uso específico, acompanhados de manuais e garantia.

A qualidade de um produto gerado em um processo industrial é resultado da contribuição de todas as etapas envolvidas, desde o projeto das instalações até sua utilização pelo consumidor. A utilização de técnicas e práticas adequadas maximizam o rendimento do processo como um todo e propiciam o fornecimento de um produto mais adequado às expectativas do consumidor.

IMPORTANTE!

Não é verdadeiro o argumento da “lucratividade” da usina de triagem e compostagem, muitas vezes apresentado a gestores públicos ou privados dos serviços urbanos. As vendas de recicláveis e de composto não cobrem as despesas operacionais correspondentes e os custos financeiros e de investimento.

VANTAGENS DA USINA

A grande justificativa de construir usinas reside nas vantagens diretas de saneamento, redução de aterro, redução de chorume e de produção de gases, bem como os benefícios indiretos, tais como menor consumo de matérias-primas, menor consumo de energia e de insumos, como água, O₂, etc., e redução da poluição ambiental para a produção de bens, recuperação de solos, etc.

7 OPERAÇÃO DE UMA USINA DE TRIAGEM E COMPOSTAGEM

No Quadro 2, são apresentadas as principais recomendações de operação, agrupadas por setor, visando o bom funcionamento das instalações e a obtenção de produto de boa qualidade.

7.1 Recursos Humanos

A mão-de-obra é o fator que mais influi no custo operacional de uma usina. Seu dimensionamento depende de uma série de fatores, como capacidade da usina, nível de treinamento dos operadores, grau de beneficiamento dos produtos e estilo gerencial.

O setor que mais emprega mão-de-obra é o de triagem, onde é utilizado aproximadamente um funcionário por metro linear da esteira. Como exemplo, sugere-se, a seguir, a distribuição de funcionários,

Quadro 2 – Recomendações de operação para uma usina de triagem e compostagem de lixo domiciliar

Setor	Recomendações
Recepção	<p>Pesar caminhões cheios e vazios.</p> <p>Processar exclusivamente resíduos domiciliares; não tratar varrição e material proveniente de serviços de saúde.</p> <p>Retirar materiais volumosos para evitar entupimento da moega.</p> <p>Não deixar o lixo parado mais tempo que o mínimo necessário.</p>
Triagem	<p>Executar a limpeza e manutenção semanal aos sábados.</p> <p>O primeiro operador rasga os sacos de lixo fechados.</p> <p>Catadores em lados opostos preferencialmente devem estar intercalados.</p> <p>Não colocar dois operadores consecutivos selecionando o mesmo material.</p> <p>Treinar cada funcionário na seleção de mais de um material.</p> <p>Caso haja funcionários em treinamento, usar velocidade baixa da esteira.</p> <p>Garantir remoção de pilhas, metais e inertes.</p> <p>Retirar o máximo possível de plástico filme.</p>
Pátio de compostagem	<p>Revirar as leiras com a periodicidade requerida, garantindo uma frequência mínima de duas vezes por semana, nos primeiros 15 dias de operação e posteriormente 1 vez por semana.</p> <p>Manter a umidade entre 50 e 60%, durante a compostagem.</p> <p>Manter placas com identificação e dados sobre as leiras.</p> <p>Monitorar o processo e providenciar correções necessárias.</p>
Beneficiamento	<p>Separar e acondicionar os recicláveis em função do mercado.</p> <p>Peneirar sempre o composto para sua comercialização.</p>
Outras instalações	<p>Almoxarifado deve manter estoque de principais peças de reposição.</p> <p>O aterro de rejeitos e sistemas de tratamento de efluentes devem ser operados e monitorados segundo técnicas recomendadas.</p> <p>Caso haja incinerador de resíduos de serviços de saúde, nas instalações da usina, garantir independência de circuito dos materiais.</p>

Fonte: IPT³

para uma usina que processa cerca de 100 t/dia, com uma esteira dupla de 18 m de comprimento cada uma:

Gerente	1
Administrativos	3
Técnicos de nível médio	1 a 2
Motoristas	2
Operadores de máquina	2 a 3
Mão-de-obra não-qualificada	40 a 50

7.2 Monitoração

Conforme já exposto, os principais fatores que influem no processo de compostagem são: tempe-

ratura, umidade, pH e aeração. A temperatura e o pH evoluem em função das outras variáveis sobre as quais pode-se atuar operacionalmente, como é descrito a seguir.

- **Aeração** – O processo de compostagem é aeróbio, devendo haver sempre oxigênio do ar presente nos vazios do resíduo. No processo natural não há monitoração do nível de aeração, pois esta ocorre apenas por difusão e convecção natural, sendo minimizados os problemas de caminhos preferenciais e zonas anaeróbias pelo revolvimento do resíduo, que deve ser feito de acordo com a frequência adequada ao longo do processo. No método acelerado, onde existe insuflação de ar, deve ocorrer monitoração e, de preferência, registro contínuo da aeração para garantir boas condições.

- *Umidade* – Deve-se avaliar a umidade do material em compostagem, no início e semanalmente, por tomadas de amostras para determinação em laboratório (secagem em estufa). Se a umidade for elevada, deve-se fazer leiras mais baixas ou revolvê-las com maior frequência; se for baixa, aspergir ou irrigar com água, ao mesmo tempo que se procede ao revolvimento da leira, para sua homogeneização.
- *Temperatura e pH* – Apesar de serem resultado das outras variáveis, o acompanhamento da temperatura e do pH é fundamental para diagnosticar a existência de problemas operacionais ou indicar a fase na qual o processo se encontra (bioestabilização ou humificação). A medida da temperatura deve ser feita com termômetro de haste longa que permita a leitura no mínimo a cerca de 40 cm da superfície da leira; a do pH, em aparelho específico ou utilizando-se papel indicador.

O acompanhamento da temperatura é mais importante na fase termófila, quando deve ser realizado diariamente. Na fase mesófila sugere-se, pelo menos, duas medidas de temperatura por semana, em cada leira. As medidas deverão ser feitas em vários pontos de uma mesma leira, para se obter uma média representativa.

7.3 Gerenciamento da Usina

O bom andamento das atividades de uma usina de triagem e compostagem depende de uma série de atividades, desde o projeto até a operação. Atividades em todos os níveis influem na qualidade dos produtos gerados e na produtividade da planta.

O gerenciamento de uma usina desempenha papel de fundamental importância na obtenção de resultados.

Ao gerente de uma usina, cabe a responsabilidade pela operação e manutenção das unidades e o desenvolvimento e a coordenação de todas as atividades, direta ou indiretamente, ligadas à instalação que possam influir em seu rendimento técnico, operacional e financeiro. Como exemplos dessas atividades, pode-se citar:

- treinamento de funcionários: envolvendo a operação de mais de um equipamento ou

exercício de mais de uma função; explanação do processo para entendimento da importância de cada etapa para o resultado final e do processo como um todo para a sociedade e o meio ambiente; noções de saúde e higiene; riscos e equipamentos de proteção individual;

- motivação de funcionários: além do treinamento anterior, outras práticas podem ser instituídas para tornar o trabalho mais agradável e incentivar o bom desempenho dos funcionários, como: estabelecimento de metas de produtividade e recompensas pelo seu atendimento; reuniões periódicas para discussão de resultados, mecanismos incentivadores de sugestões para melhoria de procedimentos e resultados;
- acompanhamento e desenvolvimento de mercados: atividades envolvendo acompanhamento da evolução regional e, mais geral, de preços de compostos e recicláveis; contatos com compradores para avaliação do grau de satisfação com os produtos e sugestões sobre possíveis alterações que os tornem mais atrativos; contatos com clientes potenciais para avaliação de perspectivas de expansão, especificações e competitividade do mercado;
- atividades promocionais: para divulgar/melhorar a imagem da usina perante a população, envolvendo campanhas de esclarecimento, vídeos, folhetos, revistas promocionais, sobre aproveitamento do composto orgânico e dos recicláveis, bem como a utilização do composto orgânico pela Prefeitura em praças, jardins, viveiros de mudas; campanhas de incentivo à coleta seletiva; programas de visitas de escolas e instituições, etc.

8 ALTERNATIVAS DE USINA EM FUNÇÃO DA QUANTIDADE DE LIXO

A seguir, são apresentadas as alternativas consideradas mais recomendáveis para a realização da triagem e compostagem, em nível industrial, em função da quantidade de lixo. Para usinas de pequeno porte, assim consideradas as que tratam o lixo domiciliar de cerca de 200 t/dia, deve-se adotar o método de compostagem natural, mais lento, e que requer menor investimento. Para instalações que tratam o lixo de mais de 300 t/dia, recomenda-se a utilização do processo acelerado, mais rápido, e que requer menor

área. Usinas para processar entre 200 e 300 t/dia deverão ser objeto de avaliação técnico-econômica para escolha da alternativa mais adequada.

Pequenas comunidades, geradoras de menos de 25 t/dia, deverão procurar criar um consórcio com municípios vizinhos, instalando uma usina comum em uma localização estratégica de modo a torná-la mais econômica para todos os envolvidos.

8.1 Usinas para Processamento de Até 25 t/dia

Uma usina bem simples e pequena está esquematizada na Figura 5. Neste caso, descarrega-se o lixo diretamente numa moega, que alimenta a esteira de triagem de onde retiram-se os recicláveis. Deve haver um dispositivo magnético no final da esteira para remover pilhas e outros metais ferrosos. O material não triado, rico em matéria orgânica, vai para o pátio de compostagem, onde permanece cer-

ca de 90 dias em leiras revolvidas periodicamente. No final, peneira-se o composto, para redução de granulometria e remoção de materiais indesejáveis, que seguem para o aterro de rejeitos.

A mesma instalação pode servir para tratar o lixo bruto ou o proveniente de coleta seletiva.

8.2 Usinas para Processamento de Cerca de 50 t/dia

A Figura 24 apresenta um esquema ilustrativo de instalações para uma usina um pouco maior, que processa cerca de 50 t/dia. Neste caso, a recepção consta de um fosso que serve como um pulmão que alimenta, por meio de um pólipo com braço articulado ou outro tipo de transportador, uma moega, que, por sua vez, alimenta a esteira de triagem.

Os demais equipamentos são os mesmos da usina anterior, com maiores dimensões.

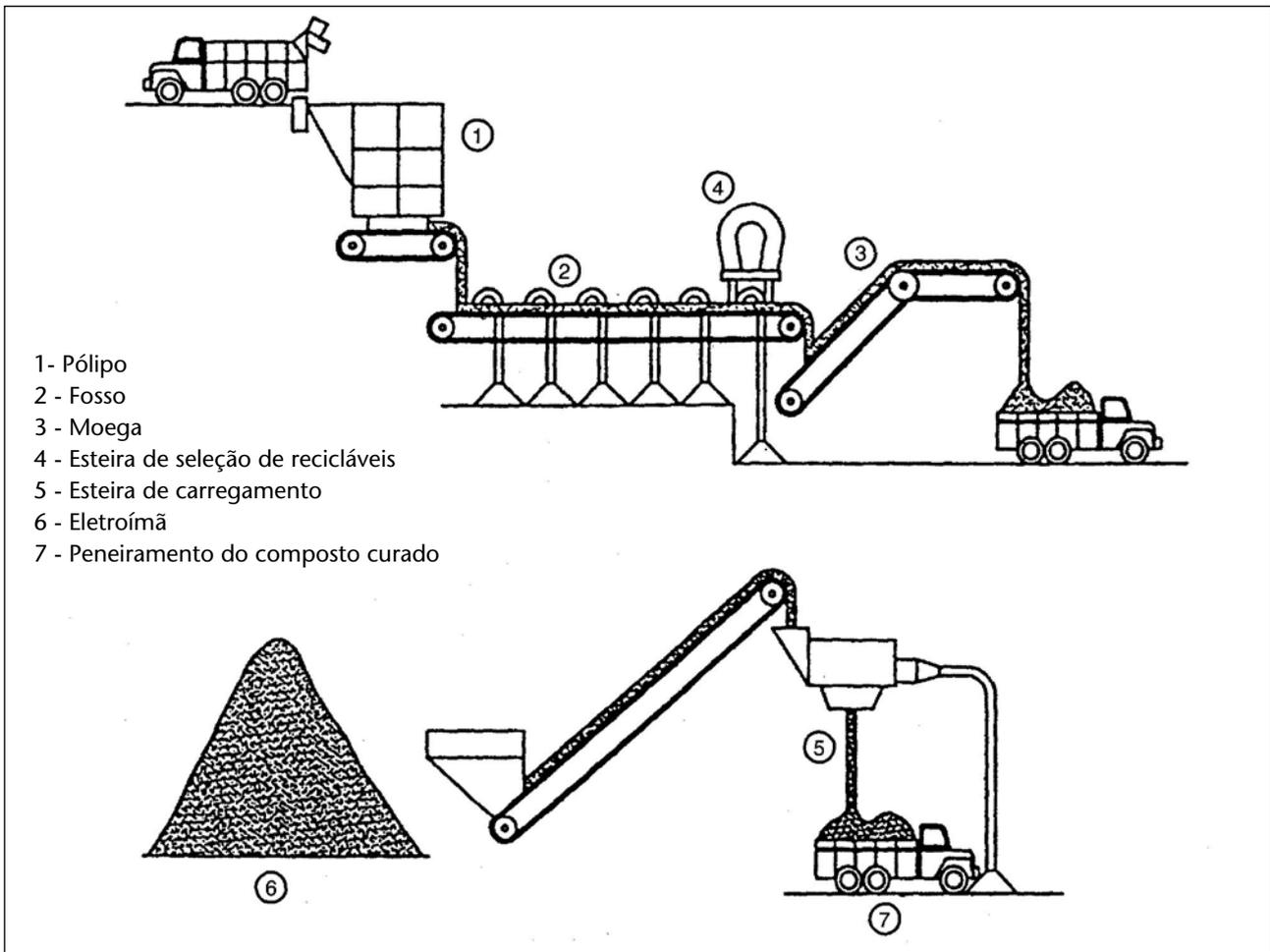


Figura 24 – Usina para processamento de cerca de 50 t/dia

8.3 Usinas para processamento de Mais de 100 t/dia

Para processar mais de 100 t/dia, recomenda-se a utilização da configuração apresentada na Figura 25.

Os tipos de equipamentos são os mesmos do caso anterior, mas a linha de triagem é duplicada. Com isso, evita-se a necessidade de esteiras excessivamente compridas e tem-se a vantagem da não paralisação total no caso de problemas em uma das linhas.

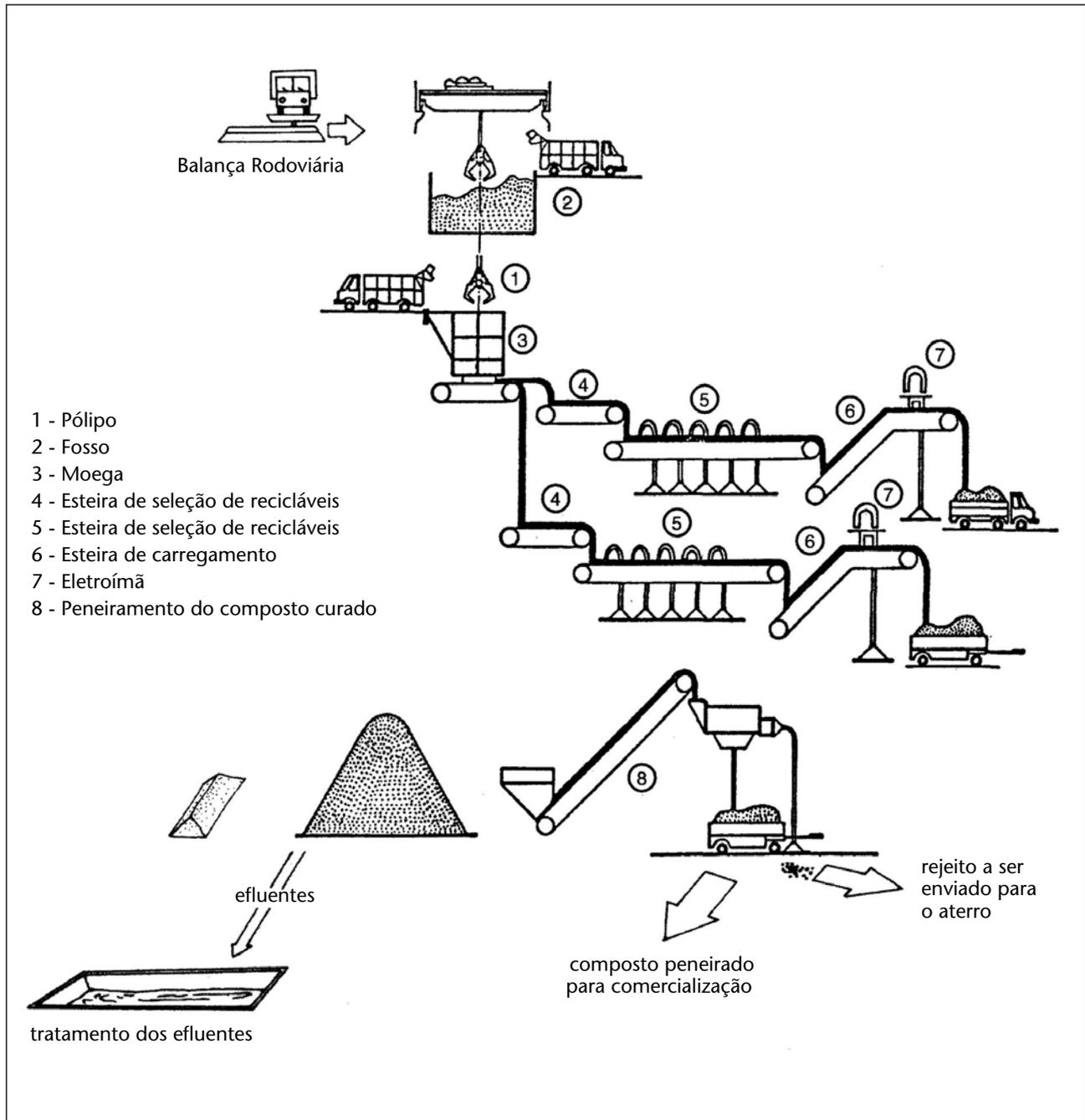
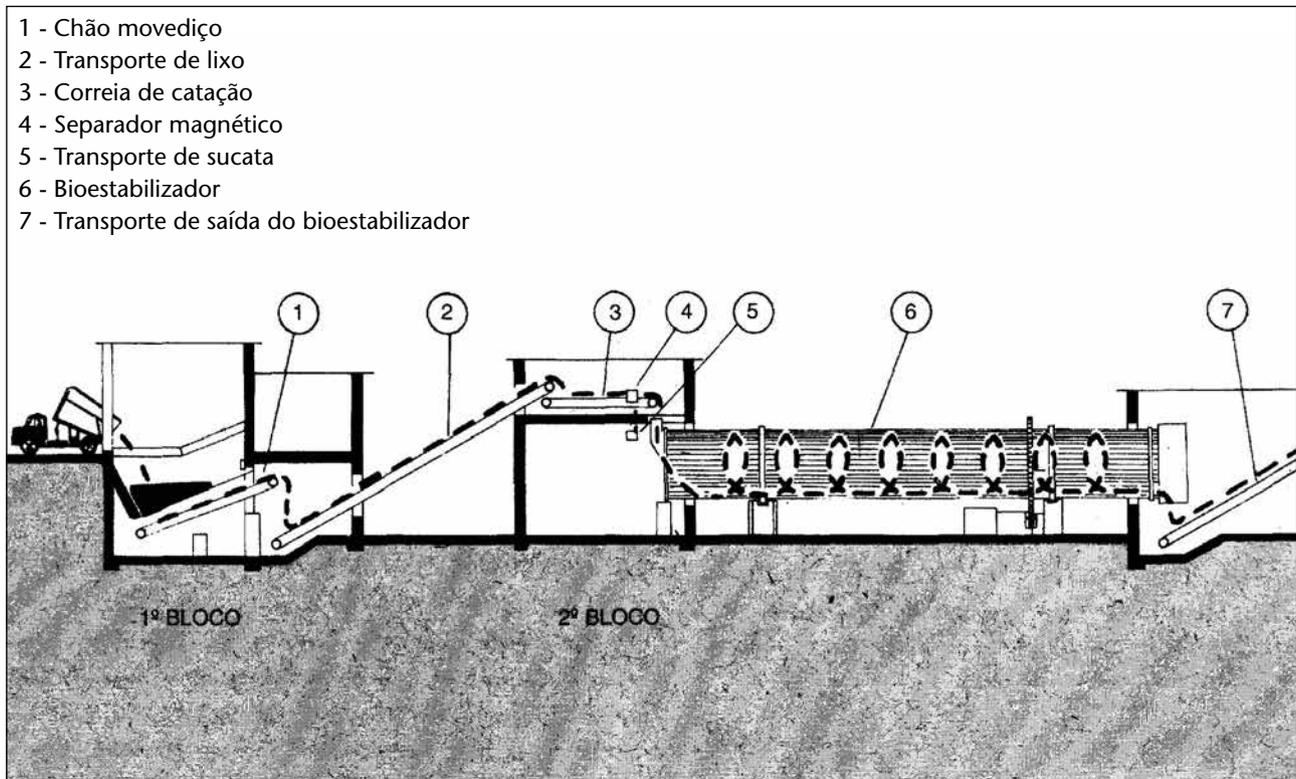


Figura 25 – Usina para processamento de mais de 100 t/dia

8.4 Usinas para Processamento Acelerado

São usinas de compostagem acelerada, onde o procedimento difere da compostagem natural pela presença de um digestor ou reator, também denominado bioestabilizador. Equipamentos com características e metodologia especiais são encontrados na usina de compostagem acelerada, podendo ser

citados: mais de uma linha de tratamento de lixo, grandes fossos e moegas com lixo movimentado por ponte rolante; separadores magnéticos, pneumáticos e balísticos para remoção mecânica de recicláveis ou de inertes; filtros biológicos para gases e particulados; tratamento de águas residuárias e de chorume; possantes máquinas especiais para revolver o composto do pátio (Figura 26).



Fonte: Adaptado de SÃO PAULO [s.d.].

Figura 26 – Corte longitudinal de uma usina de compostagem acelerada

O digestor é um equipamento fundamental, onde o resíduo avança no sentido contrário da corrente de ar, e tem as seguintes funções: através das rotações e dos tombamentos do lixo em seu interior, mistura mecânica e continuamente os componentes mais leves com os mais pesados, os mais secos com os mais úmidos, tritura ou esfacela os componentes frágeis. Os tombamentos do lixo provocam, ainda, uma eficiente renovação do ar no interior da massa e o início da decomposição, desenvolvendo-se temperatura termófila, suficiente para eliminar os organismos patogênicos.

9 COMPOSTO ORGÂNICO

9.1 Legislação

O composto orgânico, produzido a partir de resíduos sólidos urbanos domiciliares, pode apresentar características variáveis em função da composição da fração orgânica do lixo e da operação da usina. As características dos materiais comercializados como fertilizantes devem obedecer às especificações da Legislação Brasileira, do Ministério da Agricultura. O Decreto nº 4.954, de 14/01/2004 (modificado pelo

Decreto nº 8.384 de 29/12/2014), a Portaria MA 84, de 29/3/82, e a Portaria nº 01, da Secretaria de Fiscalização Agropecuária do Ministério da Agricultura, de 4/3/83 (alterada em 22/05/84), dispõem sobre a inspeção e a fiscalização da produção e comércio de fertilizantes, corretivos, inoculantes ou biofertilizantes destinados à agricultura e aprovam normas sobre especificações, garantias e tolerâncias.

O composto orgânico é enquadrado na lei como fertilizante orgânico ou mais especificamente como fertilizante composto.

Os Quadros 3 e 4 apresentam, respectivamente, as especificações de parâmetros físicos e químicos e de granulometria, estipulados pelo Ministério da Agricultura.

A granulometria de farelado grosso não deve ser aplicada ao composto orgânico em questão, já que materiais como tampas de garrafas de refrigerantes, pequenos cacos de vidro e fios metálicos devem ser separados do composto na fase de beneficiamento, para sua posterior aplicação agrícola. Na prática, tem sido utilizada peneira com malha de 20 mm, o que acarreta um produto intermediário entre farelado e farelado grosso, com bom aspecto e boa qualidade para manuseio.

Quadro 3 – Valores estabelecidos como parâmetros de controle para composto orgânico e tolerâncias, conforme Legislação do Brasil

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

Quadro 4 – Especificações para granulometria de fertilizantes

Granulometria	Exigência	Tolerância
Farelado	100% em peneira 4,8 mm	até 85% em peneira 4,8 mm
	90% em peneira 2,8 mm	
Farelado grosso	100% em peneira 38 mm	não admite
	90% em peneira 25 mm	

9.2 Aplicação

O fator mais importante do fertilizante composto é a matéria orgânica, responsável pela fertilidade dos solos e fonte de energia para os microrganismos que o habitam. Contribui para melhorar as propriedades físicas do solo, como agregação, porosidade, capacidade de retenção de água (que reduz a erosão) e de retenção de cátions. Além disso, apresenta nutrientes minerais (N, P, K, Ca, Mg, S e micronutrientes) que podem ser utilizados pelas plantas.

A aplicação de 20 t/ha de composto ao solo adiciona, com base no material com 40% de umidade, cerca de 146 kg de nitrogênio, 74 kg de fósforo como P_2O_5 , e 64 kg de potássio como K_2O , quantidades suficientes para suprir as exigências nutricionais de nitrogênio para cereais e outras culturas, sendo necessária a suplementação mineral para adequar os teores de fósforo e potássio.

Se o composto for efetivamente de boa qualidade, isto é, se estiver bem curado e isento de materiais inertes indesejáveis, sua aplicação na agricultura é análoga do esterco de curral. Assim, as mesmas quantidades usadas de esterco de curral para as culturas perenes ou anuais podem ser aplicadas para o composto orgânico do lixo.

Como exemplos, viveiros de mudas podem receber de 20 a 30 L de composto por m^2 de canteiro; algodão, milho e outros cereais de 20 a 30 L/10 m lineares de sulco; pastagens, de 15 a 20 t/ha, etc. As técnicas de aplicação do composto orgânico são as mesmas adotadas para os fertilizantes minerais.

9.3 Valor e Preço do Composto

Uma maneira de estabelecer o valor do composto orgânico baseia-se no conteúdo em matéria orgânica, utilizando-se, como referência, os preços de seus concorrentes, os estercos de curral ou de granja. Uma outra maneira que tem sido proposta para essa finalidade baseia-se no conteúdo de macronutrientes primários (NPK) contidos no fertilizante mineral e no composto.

Para efeito de comparação, foi adotada a fórmula comercial que mantém proporcionalidade com os valores médios observados para os teores correspon-

dentes nas amostras de composto orgânico. Considerando-se as relações entre os conteúdos destes nutrientes presentes no composto orgânico e no fer-

tilizante mineral comercial, a equivalência de massas média é de 17:1. Uma ilustração dessa equivalência é mostrada na Figura 27.

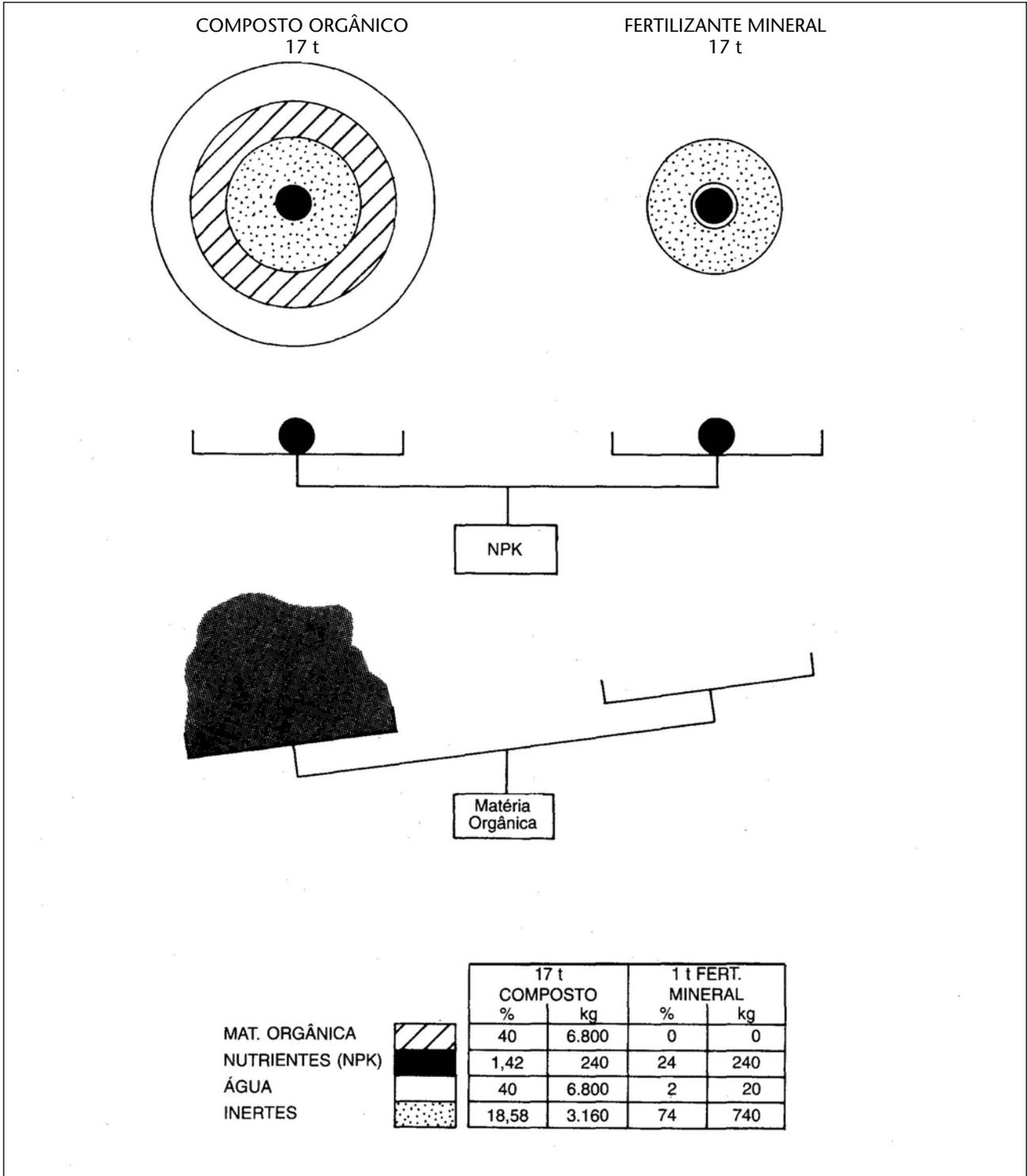


Figura 27 – Valor nutricional do composto em relação ao fertilizante mineral

Entretanto, a adoção do composto orgânico pelo agricultor, em substituição ao fertilizante mineral, precisa superar, ainda, as questões da aplicação no solo de uma quantidade de material 17 vezes maior e a da confiança nas potencialidades de um produto proveniente do lixo. A solução da primeira pode ser tentada por uma política de preços bem formulada e, a da segunda, através da garantia da qualidade do produto e de *marketing* adequado, enfatizando-se as vantagens da reposição da matéria orgânica no solo, que diferencia o composto do fertilizante mineral.

10 BENEFÍCIOS DE UMA USINA DE TRIAGEM E COMPOSTAGEM

Em termos médios, entre 30 e 40% do peso do material que entra nas usinas sai na forma de composto orgânico. Cerca de 20 a 30% representam perda de gases e umidade por evaporação e/ou infiltração e cerca de 5 a 15% é comercializado no mercado de recicláveis. A parcela de rejeitos a ser descartada situa-se entre 25 e 35% do total coletado, evidenciando substancial redução do espaço físico para disposição final. As variações observadas nestes percentuais, entre outros fatores, devem-se à variabilidade do material coletado, quanto ao cuidado na triagem, à intensidade da demanda por recicláveis e ao tempo de residência no pátio de cura. De modo geral, numa usina operando em condições satisfatórias, pode-se supor o seguinte balanço de massa:

Composto orgânico	35%
Recicláveis	10%
Perdas (água e CO ₂)	25%
Rejeito para aterro	30%

O potencial de contaminação de solos e águas subterrâneas pelos materiais descartados pelas usinas é consideravelmente menor que aquele dos resíduos brutos devido ao fato de serem constituídos, principalmente, por rejeitos inertes da triagem e rejeitos inertes ou bioestabilizados do peneiramento ao final do processo de compostagem. Dessa forma, aterros desses materiais não requerem os mesmos rigores de operação que os receptores de resíduos

brutos, pois fica quase eliminada a produção de chorume. Daí decorre, portanto, certa redução do custo por tonelada aterrada, tanto na implantação quanto na operação, ou, no mínimo, uma solução ambientalmente mais segura.

11 SITUAÇÃO BRASILEIRA

Não existem atualmente no Brasil usinas de triagem e compostagem. Elas tiveram sua operação interrompida, foram desativadas ou sequer entraram em operação pelos seguintes motivos:

- promoção mal planejada da instalação de usinas, o que acarretou a disputa dos recursos pelos construtores, cujas convicções técnicas e mercadológicas nem sempre foram ao encontro das necessidades dos municípios;
- ausência de capacitação institucional e/ou gerencial e/ou operacional para condução das atividades;
- entendimento equivocado das usinas como capazes de “fazer desaparecer o lixo”, com a conseqüente ausência de previsão de espaço – e de capacitação operacional – para instalação dos necessários aterros sanitários receptores de rejeitos;
- exploração do argumento sobre geração de empregos (por exemplo, para absorver catadores do lixão) como motivação social da opção pelas usinas;
- ausência de integração orçamentária, institucional e operacional das usinas com o serviço de limpeza pública local;
- localização inadequada das usinas, acarretando problemas ambientais e a conseqüente rejeição ao seu funcionamento pela população afetada;
- questões ligadas às disputas político-partidárias locais ou a preconceitos, chegando a acontecer a paralisação das atividades de uma usina recém-inaugurada devido, simplesmente, à mudança de governo;
- antevisão equivocada dos gestores municipais da possibilidade de “lucro” operacional das usinas;
- incapacidade de obter produtos com as ca-

racterísticas de qualidade necessárias para uso agrícola, em virtude da má operação da usina;

- má concepção de projetos, instalações incompletas ou mal-dimensionadas, equipamentos inadequados, alto custo de manutenção, falta de recursos e dificuldades para colocar os produtos no mercado.

A Legislação aplicável foi feita visando regulamentar o comércio de composto preparado a partir de resíduos agrícolas, não sendo adequada para o produzido a partir da fração orgânica de lixo domiciliar. Este resíduo pode apresentar teores de matéria orgânica e nitrogênio que, após a sua compostagem, resultarão em valores inferiores aos estabelecidos mesmo que seguidas de boas práticas de projeto e de operação das instalações.

Análises efetuadas pelo IPT³ em amostras de composto orgânico provenientes de 15 usinas localizadas no Estado de São Paulo, apresentaram, para os parâmetros considerados pela Legislação, valores variando dentro das seguintes faixas:

pH	entre 7,2 e 8,0
matéria orgânica	entre 8,2 e 30,4%
umidade	entre 27 e 55%
nitrogênio total	entre 0,39 e 1,15
relação C/N	entre 11 e 23

Estes dados ilustram a inadequação já comentada. Com relação aos teores de macronutrientes (NPK), o composto de lixo apresenta apenas o nitrogênio em quantidades mais significativas. Valores médios obtidos apresentam uma fórmula desses nutrientes (N, P₂O₅ e K₂O) do tipo 1,1 - 0,33 - 0,25.

Cabe acrescentar que a Legislação não aponta, para o composto orgânico, especificações relativas à presença de metais pesados, questão preocupante quando se trata de resíduos urbanos domiciliares. Esses, comumente, contêm objetos que possuem metais pesados, como baterias, lâmpadas opacas, cerâmicas, vidros coloridos, tinta de impressão, couro, etc. A Portaria MA 84, de 29/3/82, diz somente que “no requerimento de registro, o produto (fertilizante) deverá apresentar declaração expressa de ausência de agentes fitotóxicos, agentes patogênicos ao

homem, animais e plantas, assim como metais pesados, agentes poluentes, pragas e ervas daninhas”, sem estabelecer limites toleráveis para sua aplicação no solo, onde podem ter efeito cumulativo.

Teores médios de metais pesados, encontrados em amostras de composto de lixo do Estado de São Paulo, apresentaram valores de: cobre (Cu) = 182 mg/kg, zinco (Zn) = 433 mg/kg, chumbo (Pb) = 188 mg/kg, cromo (Cr) = 54 mg/kg, níquel (Ni) = 22 mg/kg e cádmio (Cd) = 6 mg/L. Com base na literatura internacional, as amostras de composto referidas podem ser aplicadas em solos da França, Áustria e Itália, sendo proibidas na Suíça pela concentração de Cd e Pb, o que indica que, na grande maioria dos casos, os metais pesados não representam problema sério desde que adotadas práticas adequadas de coleta, triagem e operação da usina.

12 OUTRAS ALTERNATIVAS

12.1 Compostagem Conjunta de Lixo e Lodo de Esgoto

Essa técnica é utilizada em alguns países, visando resolver o problema de dois resíduos simultaneamente. A mistura deve ser feita de modo a garantir níveis de umidade, relação C/N e aeração adequados, mas o projeto e a operação ficam muito mais complexos. No entanto, além dos obstáculos técnicos, existe ainda a dificuldade de conciliar esse tratamento simultâneo, uma vez que, geralmente, o tratamento de esgoto urbano, existente apenas em grandes comunidades, é operado pelo Governo Estadual, enquanto o lixo é de responsabilidade da esfera municipal.

12.2 Compostagem ou Digestão Anaeróbia

Compostagem ou digestão anaeróbia é um processo onde a matéria orgânica é degradada pela ação conjunta de microrganismos anaeróbios até a completa mineralização, ou seja, com formação de uma mistura onde predominam gás carbônico e metano (geralmente, chamada biogás), gerando um resíduo sólido passível de uso para fins agrícolas. Vários processos industriais, com efluentes orgânicos, têm-se utilizado deste processo, com sucesso, para saneamento ambiental.

Os primeiros trabalhos utilizando a fração orgânica de resíduos municipais remontam à década de 70. Neles, utilizam-se reatores homogêneos, nos quais a fração orgânica, muito bem separada dos demais componentes do lixo e com granulometria reduzida, era misturada com água e lodo de esgoto, obtendo-se boa homogeneização e garantindo uma degradação adequada.

Posteriormente, desenvolveram-se estudos para trabalhar com o resíduo sem adição de água, visando reduzir o alto custo de remoção de água, que geraram, na década de 80, os processos de fermentação "a seco", onde a alimentação do reator ou biodigestor é feita com teores de sólidos próximos aos da fração orgânica do lixo.

Os processos anaeróbios diferenciam-se dos aeróbios ou de compostagem comum, principalmente pelos seguintes fatores: praticam-se em recipientes fechados os biodigestores; são menos eficientes na redução dos patógenos, principalmente quando se opera na faixa de temperatura mais baixa (até cerca de 40°C); têm maior custo de investimento. Como geram o biogás (um combustível), têm sido considerados como uma possível alternativa para a obtenção de energia a partir do lixo.

Esses processos foram estudados em instalações-piloto, principalmente nos Estados Unidos, França e Bélgica, geralmente recomendando-se sua utilização para o tratamento de quantidades de lixo superiores a 100 t/dia.

BIBLIOGRAFIA

1. KIEHL, E. J. 1985. Fertilizantes orgânicos. São Paulo: Ed. Ceres. 492 p.
2. LINDENBERG, R. C. 1993. Informações pessoais.
3. IPT. 1993. Avaliação técnico-econômica de produção de composto orgânico. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. 4 v. (IPT – Relatório, 31659).
4. VEGA SOPAVE. 1994. Informações pessoais.
5. SÃO PAULO (Cidade). Secretaria de Serviços e Obras. Departamento de Limpeza Urbana. [s.d.]. Composto orgânico: Usina de Compostagem de São Matheus. 6 p.

CAPÍTULO IV

PROCESSAMENTO DO LIXO

PARTE 3 – RECICLAGEM DE PAPEL

1 INTRODUÇÃO

No ano 105 a.C., o chinês T'sai Lun inventou o papel: folha de espessura fina, formada em moldes planos e porosos a partir de fibras vegetais das mais diversas procedências. Para conseguir, estas fibras, T'sai Lun deixava os vegetais de molho em água e, em seguida, batia-os para que suas fibras fossem liberadas e ficassem dispersas na água, prontas, assim, para serem empregadas na fabricação do papel.¹

Desde sua invenção até hoje, o princípio de fabricação do papel é o mesmo, assim como sua matéria-prima básica, ou seja, *fibras vegetais*, denominadas também *fibras celulósicas*. Porém, ao longo de todos estes anos, muita tecnologia tem sido incorporada ao processo de obtenção das fibras celulósicas, assim como na manufatura do papel.

2 COMPOSIÇÃO DO PAPEL

Atualmente, a matéria-prima vegetal mais utilizada na fabricação do papel é a madeira, embora outras também possam ser empregadas. Estas matérias-primas são hoje processadas química ou mecanicamente, ou por uma combinação dos dois modos, gerando como produto o que se denomina de *pasta celulósica*, que pode ainda ser branqueada², caso se deseje uma pasta de cor branca. A pasta celulósica, branqueada ou não, nada mais é do que as fibras celulósicas liberadas, prontas para serem empregadas na fabricação do papel³ (Figura 1).

No Brasil, em torno de 99% da pasta celulósica produzida provém da madeira, sendo o 1% restante obtido de outras matérias-primas fibrosas, como sisal, bambu e línter de algodão. As fibras de madeira são obtidas de áreas reflorestadas, que se mantêm sempre produtivas e cultivadas especificamente para a produção de pasta celulósica. A mata nativa brasileira, pela diversidade de sua composição, é inadequada à produção de pasta celulósica. Até meados de 2015, existia 7,8 milhões de hectares reflorestados pelo setor celulósico-papeleiro, sendo cultivadas espécies exóticas (eucalipto, pinus e teca) e nativas (araucária e paricá). Essa área corresponde a 0,9% do território nacional.⁵

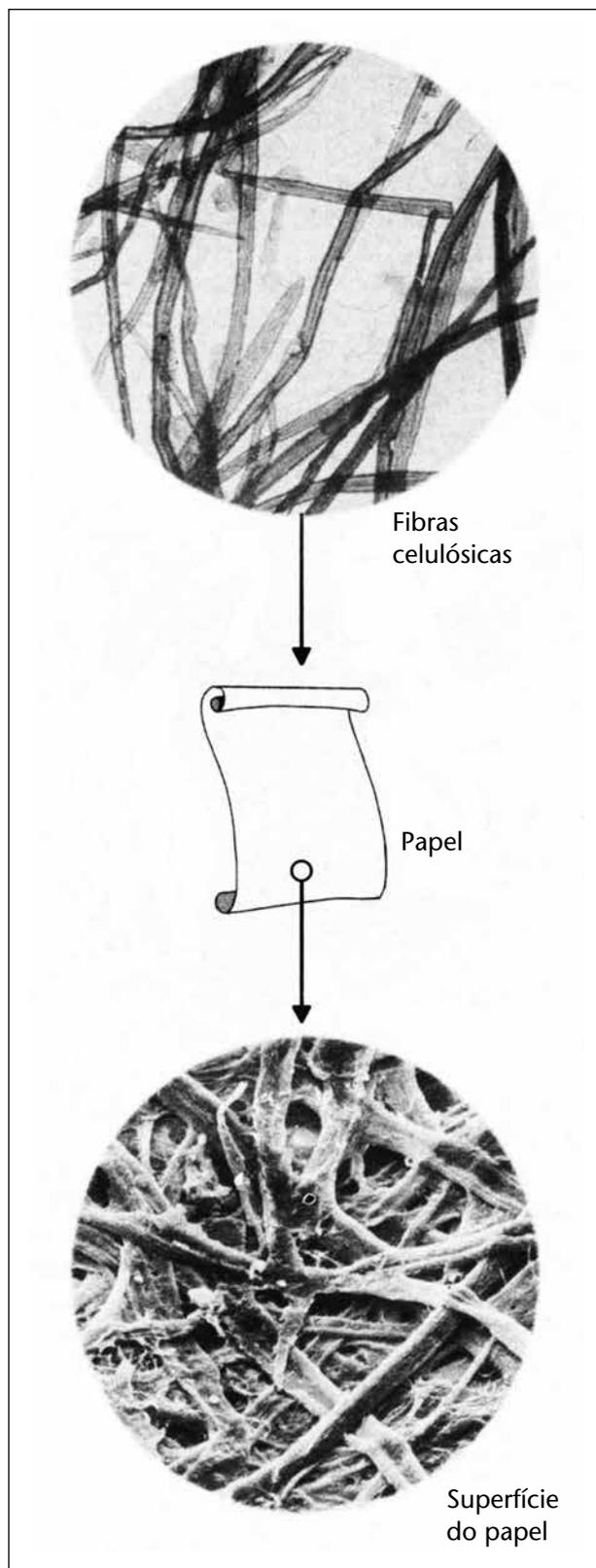


Figura 1 – Fibras celulósicas – Papel – Superfície do papel

A pasta celulósica também pode provir do processamento do papel, ou seja, da *reciclagem do papel*. Neste caso, os papéis coletados para esse fim recebem o nome de *aparas*. O termo *apara* surgiu para designar as rebarbas do processamento do papel em fábricas e em gráficas e passou a ter uma abrangência maior, designando, como já foi dito, todos os papéis coletados para serem reciclados.

Além de sua matéria-prima básica, fibras celulósicas, o papel possui também outros componentes, que, embora estejam presentes em proporções menores, são imprescindíveis, pois atribuem a este

características desejadas para a finalidade a que se destina. Assim, de acordo com sua formulação específica, o papel pode:

- conter aditivos (agentes de colagem, agentes de retenção, branqueadores ópticos, pigmentos minerais, etc.);
- ser impregnado;
- ser revestido (com pigmentos minerais, filmes metálicos ou plásticos, parafina, silicone, etc.).

As Figuras 2 e 3 esquematizam a obtenção de papel a partir de suas matérias-primas.

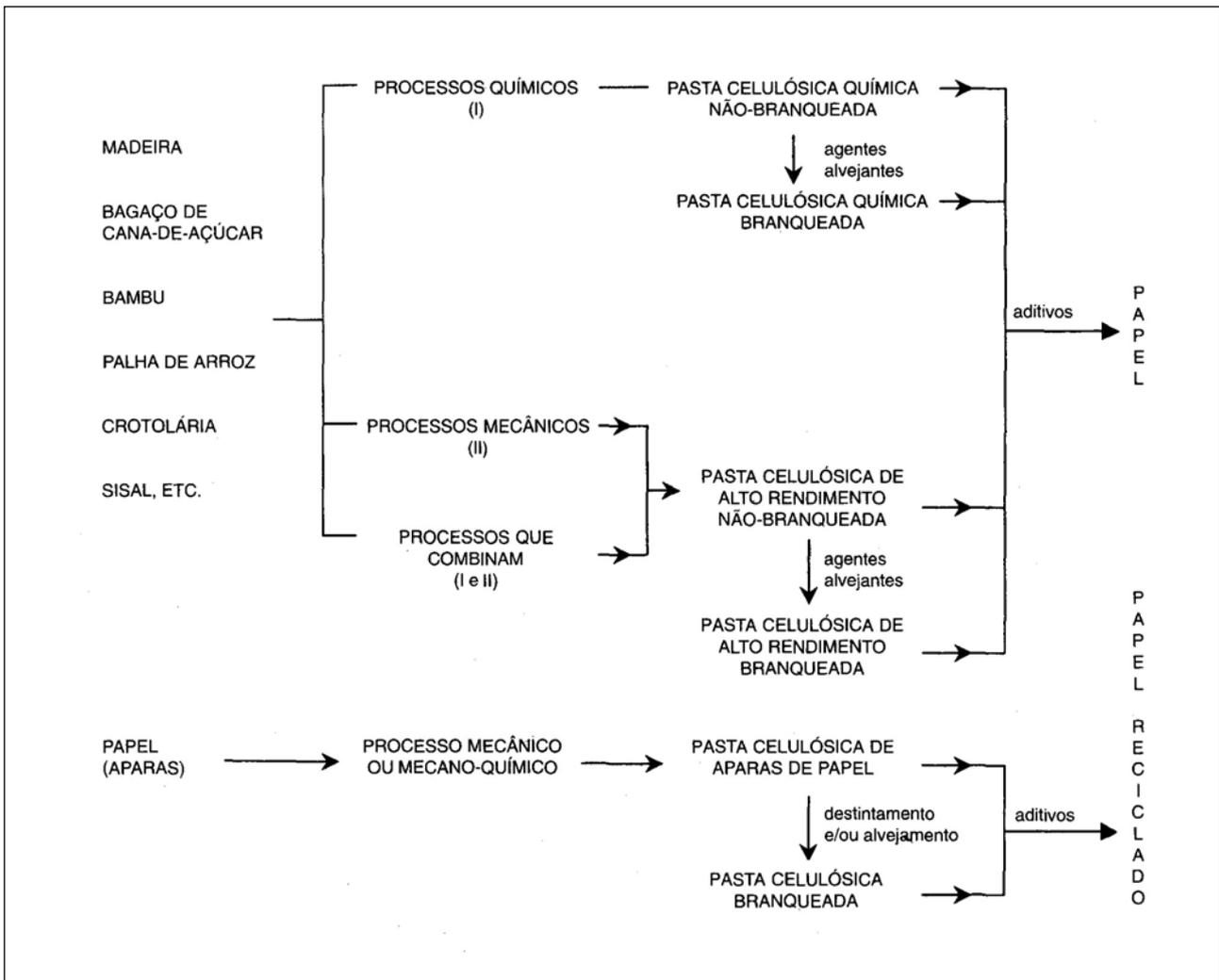


Figura 2 – O papel a partir de suas matérias-primas

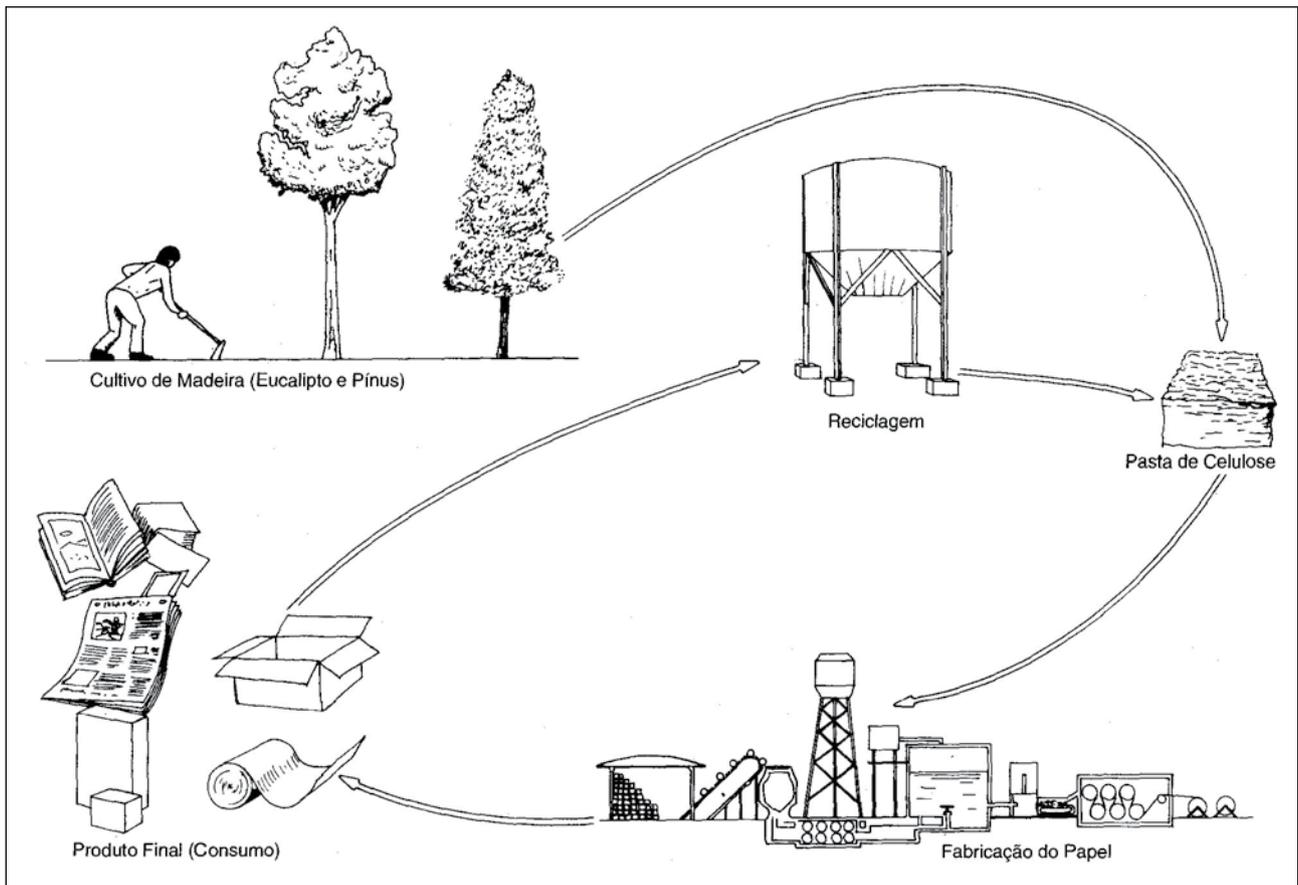


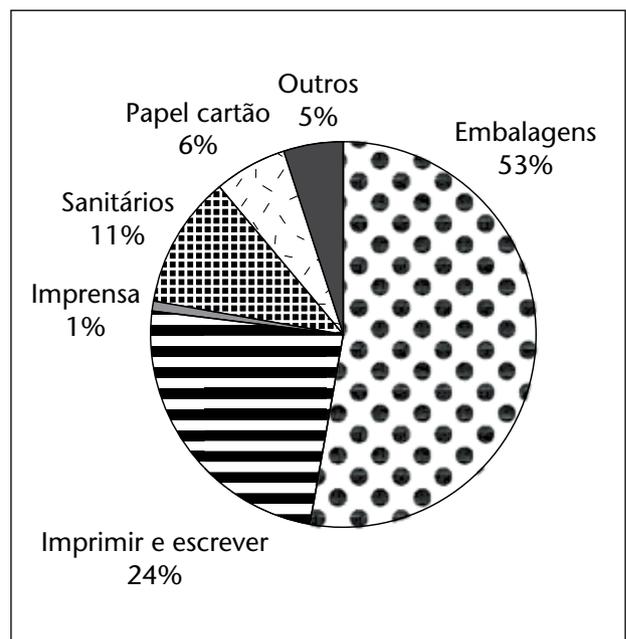
Figura 3 – Processo de produção de papel

3 TIPOS DE PAPEL

Os papéis são normalmente classificados como: de impressão, de escrever, de embalagem, de fins sanitários, cartões e cartolinas e especiais. A Figura 4 mostra a participação de cada um destes tipos na produção total brasileira, e a Tabela 1, os papéis encontrados em cada um deles.

Uma propriedade muito importante do papel é sua gramatura, que é a massa em gramas de uma área de um metro quadrado de papel. Dependendo desta, o papel pode receber denominações como cartão e papelão:

- cartão é o papel com gramatura elevada, normalmente acima de 150 g/m²;
- papelão é um cartão de gramatura e rigidez elevadas, fabricados essencialmente com pasta celulósica de alto rendimento (pasta proveniente basicamente do processamento mecânico da madeira) (ver Figura 2) ou com fibras recicladas.



Fonte: IBÁ, 2015⁵

Figura 4 - Produção brasileira de papéis por tipo, ano 2015

Tabela 1 – Classificação dos papéis no Brasil

Papéis para imprimir e escrever	<ul style="list-style-type: none"> - Papel Offset - Papel Couché (Revestido) - Papel Imprensa - Papel Jornal - Papel LWC (Light Weight Coated) - Papel Cut-size 	<ul style="list-style-type: none"> - Papel Monolúcido; - Papel Apergaminhado - Papel Supercalandrado - Cartolina para impressos - Papel Reciclado (mínimo de 25% de aparas pós-consumo)
Papéis para embalagens	<p>Papelão Ondulado:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Miolo - Capa de primeira (Kraftliner) - Capa de segunda (Testliner) - White Top Liner <p>Para embalagens leves:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Estiva e Maculatura - Seda - Papel Glassine, Cristal ou Pergaminho - Papel Greaseproof 	<p>Papel Kraft:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Kraft Natural para Sacos Multifolhados - Kraft Extensível - Kraft Natural ou em cores para outros - Kraft Branco ou em cores - Tipo Kraft de primeira - Tipo Kraft de segunda
Papéis de fins sanitários	<ul style="list-style-type: none"> - Higiénico popular - Higiénico folha simples (boa qualidade) - Higiénico folha simples (alta qualidade) - Higiénico folha dupla 	<ul style="list-style-type: none"> - Toalha - Guardanapo - Lenço
Papel cartão	<ul style="list-style-type: none"> - Cartão duplex - Cartão triplex - Cartão sólido 	<ul style="list-style-type: none"> - Cartolina branca e colorida - Papelão - Polpa moldada
Papéis especiais	<ul style="list-style-type: none"> - Papéis autoadesivos - Papéis decorativos - Papéis metalizados - Papel absorvente base para laminados - Papel autocopiativo - Papel crepado 	<ul style="list-style-type: none"> - Papel de segurança - Papel filtrante - Papel Kraft especial para cabos elétricos - Papel Kraft especial para condensadores - Papel Kraft especial para fios telefônicos - Papéis térmicos

Fonte: IBÁ, 2015⁵

Há também o papelão ondulado, que consiste de uma ou mais folhas de papel ondulado, coladas entre duas folhas lisas, formando assim o que se chama chapa de papelão ondulado, bastante utilizada na confecção de embalagens.

Na prática, também é comum o termo cartolina, para designar papéis normalmente com gramaturas entre 100 e 150 g/m².

O cartão pode ser formado por uma única camada de fibras celulósicas ou pode ser multicamada, ou seja, confeccionado de modo a ter mais de uma camada de fibras (comumente duas a três). Estas camadas podem ter a mesma composição ou diferirem entre si, como:

- cartão duplex (duas camadas), sendo, por exemplo, uma de fibras de eucalipto, obtidas pelo processamento químico da madeira e branqueadas, e outra de fibras recicladas, obtidas pelo processamento de papéis velhos;
- cartão triplex (três camadas), sendo, por exemplo, a primeira de fibras de eucalipto, obtidas pelo processamento químico da madeira e branqueadas, a segunda de fibras recicladas, obtidas pelo processamento de papéis velhos, e a terceira de fibras de pinus, obtidas pelo processamento mecânico da madeira.

Atualmente, os cartões multicamadas, com revestimento de plástico e/ou de alumínio, são bastante utilizados para embalagens de alimentos. Por exemplo, as embalagens cartonadas tipo longa vida, muito utilizada para preservar por meses alimentos, como leite e sucos.

4 RECICLAGEM DE PAPEL

Reciclagem de papel significa fazer papel empregando como matéria-prima papéis, cartões, cartolinas e papelões, provenientes de:

- rebarbas geradas durante os processos de fabricação destes materiais, ou de sua conversão em artefatos, ou ainda geradas em gráficas;
- artefatos destes materiais pré ou pós-consumo.

Aparas de papel é a denominação genérica para essas matérias-primas.

FIBRAS VIRGENS X FIBRAS SECUNDÁRIAS

Fibras celulósicas virgens são aquelas que ainda não foram utilizadas para fazer papel e fibras celulósicas secundárias são aquelas que já passaram pelo menos uma vez por uma máquina de papel.

Um papel reciclado contém fibras secundárias.

4.1 Origem das Aparas

A maior parte das aparas é absorvida principalmente para produção de papéis ondulados e kraft, usados para caixas de papelão e outras embalagens adequadas para o transporte de mercadorias. As aparas provêm principalmente de atividades comerciais e industriais.

As aparas de papel podem ser recolhidas por um sistema de coleta seletiva, ou por um sistema comercial, utilizado há anos, que envolve o catador de papel e o aparista (ver Capítulo IV – Processamento do Lixo – Parte I: Segregação de Materiais).

4.2 Classificação das Aparas

A primeira classificação publicada para comercialização de aparas no Brasil foi elaborada em 1976, pelas entidades:

- ANFPC – Associação Nacional dos Fabricantes de Papel e Celulose, substituída pela BRACEL-PA – Associação Brasileira dos Fabricantes de Celulose e Papel, atual IBÁ (Indústria Brasileira de Árvores);
- ANAP – Associação Nacional dos Aparistas de Papel;
- IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo.

Um estudo realizado pelo IPT, em 1991⁶, já acusava que apenas 56% dos fabricantes de papel que consumiam aparas utilizavam a referida classificação. O restante empregava classificação própria, baseada na existente ou em classificações estrangeiras.

- Atualmente, existe uma nova classificação (ABNT), pois a antiga não contemplava certos tipos de aparas que surgiram com o desenvolvimento da tecnologia (Tabela 2).

Tabela 2 – Classificação das aparas

Material	Descrição	Especificação
Aparas de refil de papel ondulado	Aparas de produtos de papelão ondulado de fibra virgem ou reciclada, resultantes dos processos de produção do papelão ondulado e caixas não utilizadas no mercado, sem cola insolúvel em água e sem grampo, podendo apresentar refil de capa branca.	Teor máximo de umidade: 13% Teor máximo de impurezas: 0% Teor máximo de materiais proibitivos: 0%
Aparas de papelão ondulado I	Aparas de produtos de papelão ondulado de fibra virgem ou reciclada marrom e sem outros papéis que não sejam papelão ondulado. É permitida a presença de fita adesiva, hot melt, grampo e etiqueta provenientes da própria embalagem.	Teor máximo de umidade: 15% Teor máximo de impurezas: 3% Teor máximo de materiais proibitivos: 0%
Aparas de papelão ondulado II	Aparas de produtos de papelão ondulado de fibra virgem ou reciclada, com até 5% (em massa) de outros papéis que não sejam papelão ondulado. É permitida a presença de fita adesiva, hot melt, grampo e etiqueta provenientes da própria embalagem, capa branca.	Teor máximo de umidade: 15% Teor máximo de impurezas: 3% Teor máximo de materiais proibitivos: 1%
Aparas de papelão ondulado III	Aparas de produtos de papelão ondulado de fibra virgem ou reciclada, com até 20% (em massa) de outros papéis que não sejam papelão ondulado. É permitida a presença de fita adesiva, hot melt, grampo e etiqueta provenientes da própria embalagem, capa branca.	Teor máximo de umidade: 15% Teor máximo de impurezas: 5% Teor máximo de materiais proibitivos: 3%
Aparas de refil de papel kraft	Aparas de papel kraft natural resultantes dos processos de produção, por exemplo de sacos multifolhados em envelopes, sem plastificação e costura, podem apresentar impressão.	Teor máximo de umidade: 10% Teor máximo de impurezas: 0% Teor máximo de materiais proibitivos: 0%
Aparas de papel kraft I	Aparas de papel kraft natural de sacos multifolhados, envelopes, discos e capas de bobinas, com ou sem plastificação, com ou sem costura, com ou sem impressão, limpos.	Teor máximo de umidade: 15% Teor máximo de impurezas: 3% Teor máximo de materiais proibitivos: 1%
Aparas de papel kraft II	Aparas de papel kraft natural de sacos multifolhados, envelopes, discos e capas de bobinas, com ou sem plastificação e costura, não limpos ou selecionados.	Teor máximo de umidade: 15% Teor máximo de impurezas: 5% Teor máximo de materiais proibitivos: 3%
Aparas de papel kraft III	Aparas de sacos de papel kraft multifolhados, usados na embalagem de cimento, cal, gesso, argamassa, com ou sem plastificação e costura, não limpos ou selecionados.	Teor máximo de umidade: 20% Teor máximo de impurezas: 7% Teor máximo de materiais proibitivos: 5%
Aparas de papelão micro-ondulado I	Aparas de produtos de micro-ondulado de fibra virgem ou reciclada, resultantes dos processos de produção e caixas não utilizadas no mercado, sem cola insolúvel em água e sem grampo, podendo apresentar capa impressa.	Teor máximo de umidade: 13% Teor máximo de impurezas: 0% Teor máximo de materiais proibitivos: 0%
Aparas de papelão micro-ondulado II	Aparas de produtos de micro-ondulado de fibra virgem ou reciclada, podendo apresentar cola insolúvel em água, grampo, janela plástica, capa impressa e plastificada.	Teor máximo de umidade: 15% Teor máximo de impurezas: 3% Teor máximo de materiais proibitivos: 1%
Aparas de cartão de fibra curta revestido	Aparas de cartão de fibra curta com revestimento insolúvel em água (por exemplo, plásticos, alumínio, etc.) para uso com líquidos ou alimentos.	Teor máximo de umidade: 15% Teor máximo de impurezas: 3% Teor máximo de materiais proibitivos: 1%
Aparas de cartão de fibra longa revestido	Aparas de cartão de fibra longa com revestimento insolúvel em água (por exemplo, plásticos, alumínio, etc.) para uso com líquidos ou alimentos.	Teor máximo de umidade: 15% Teor máximo de impurezas: 3% Teor máximo de materiais proibitivos: 1%
Aparas de cartão de fibra curta não revestido	Aparas de cartão de fibra curta sem revestimento insolúvel em água (por exemplo, plásticos, alumínio, etc.).	Teor máximo de umidade: 12% Teor máximo de impurezas: 3% Teor máximo de materiais proibitivos: 0%
Aparas de cartão de fibra longa não revestido	Aparas de cartão de fibra longa sem revestimento insolúvel em água (por exemplo, plásticos, alumínio, etc.).	Teor máximo de umidade: 12% Teor máximo de impurezas: 3% Teor máximo de materiais proibitivos: 0%

CAPÍTULO IV
PROCESSAMENTO DO LIXO – PARTE 3 – RECICLAGEM DE PAPEL

Aparas de embalagem de cartão para alimentos – Tipo longa vida (LPB – liquid package board)	Aparas de embalagens usadas ou não de cartão fabricado com fibra longa e laminado com polietileno e alumínio para alimentos.	Teor máximo de umidade: 15% Teor máximo de impurezas: 3% Teor máximo de materiais proibitivos: 1%
Tubetes e barricas	Aparas de tubetes e barricas de fibras virgem ou reciclada, sem revestimento, não podendo conter metal, tampa ou batoque de plástico ou de madeira e resíduos. É permitida a presença de etiquetas provenientes da própria embalagem, podendo apresentar impressão.	Teor máximo de umidade: 15% Teor máximo de impurezas: 3% Teor máximo de materiais proibitivos: 1%
Aparas de papel jornal I	Aparas, mantas e restos de bobinas de papel imprensa e jornal, sem impressão de espécie alguma, sem cola, sem revestimento.	Teor máximo de umidade: 10% Teor máximo de impurezas: 0% Teor máximo de materiais proibitivos: 0%
Aparas de papel jornal II	Aparas de jornais, gerados em redações, encalhe de redação e retorno de banca, desde que livres de revistas e papéis coloridos, sem cola.	Teor máximo de umidade: 12% Teor máximo de impurezas: 1% Teor máximo de materiais proibitivos: 0%
Aparas de papel jornal III	Aparas de jornais, gerados em redações, coleta de rua, com presença no máximo de 10% de revistas, periódicos ou outros papéis, com ou sem cola.	Teor máximo de umidade: 12% Teor máximo de impurezas: 1% Teor máximo de materiais proibitivos: 1%
Aparas de revista I	Aparas de revistas novas, sem cola, em papel revestido ou não, branco ou colorido em massa, isentas de capas duras, de etiquetas e de papel jornal.	Teor máximo de umidade: 12% Teor máximo de impurezas: 2% Teor máximo de materiais proibitivos: 0%
Aparas de revista II	Aparas de revistas, com ou sem revestimento, cola, e com presença de até 10% de jornal e/ou papéis coloridos em massa.	Teor máximo de umidade: 12% Teor máximo de impurezas: 2% Teor máximo de materiais proibitivos: 1%
Aparas de papel branco revestido	Mantas e refíles de papéis couché brancos (isentos de pasta de alto rendimento) e cartões brancos (todas as camadas brancas) sem impressão de qualquer espécie, sem cola, sem papel autocopiativo.	Teor máximo de umidade: 10% Teor máximo de impurezas: 1% Teor máximo de materiais proibitivos: 0%
Aparas de papel branco I	Mantas e refíles de papéis brancos (isentos de pasta de alto rendimento) e cartões brancos (todas as camadas brancas) sem impressão de qualquer espécie, sem papel revestido, sem cola, sem papel autocopiativo.	Teor máximo de umidade: 10% Teor máximo de impurezas: 0% Teor máximo de materiais proibitivos: 0%
Aparas de papel branco II	Aparas de papéis brancos, usados em escritório, manuscritos, impressos, cadernos usados sem capas, sem cola, formulários contínuos, impressos, papéis autocopiativos, sem carbono, com até 10% de papel revestido, sem papel resistente à umidade e sem adesivos insolúveis.	Teor máximo de umidade: 10% Teor máximo de impurezas: 3% Teor máximo de materiais proibitivos: 0%
Aparas de papel branco III	Aparas de papéis brancos, couché e/ou offset, manuscritos, impressos em cores, cadernos usados sem capas, livros sem capa, sem cola, formulários contínuos, impressos, papéis autocopiativos, sem carbono, sem papel resistente à umidade e sem adesivos insolúveis.	Teor máximo de umidade: 10% Teor máximo de impurezas: 3% Teor máximo de materiais proibitivos: 0%
Aparas de papel branco IV	Aparas de papéis brancos, couché e/ou offset, manuscritos, impressos em cores, cadernos usados e livros com ou sem capa, com ou sem cola, formulários contínuos impressos, papéis autocopiativos, sem carbono, sem papel resistente à umidade.	Teor máximo de umidade: 10% Teor máximo de impurezas: 4% Teor máximo de materiais proibitivos: 0%
Aparas de papel branco V	Aparas de papel branco com grande quantidade de impressão.	Teor máximo de umidade: 10% Teor máximo de impurezas: 2% Teor máximo de materiais proibitivos: 0%
Aparas de lista telefônica	Aparas de lista telefônica, novas ou usadas, sem limite no conteúdo de páginas coloridas, com ou sem cola, permitem refíles.	Teor máximo de umidade: 12% Teor máximo de impurezas: 1% Teor máximo de materiais proibitivos: 0%
Aparas de papel colorido	Aparas de papel colorido na massa, de qualquer procedência.	Teor máximo de umidade: 10% Teor máximo de impurezas: 2% Teor máximo de materiais proibitivos: 0%

Fonte: ABNT NBR 15483:2007 (alterada pela ABNT NBR 15483:2009)⁴

4.3 Papéis Não-Recicláveis

Para alguns papéis, a reciclagem é economicamente inviável e, portanto, diz-se que não são recicláveis.

Entre eles, tem-se:

- papel vegetal ou glassine;
- papel impregnado com substâncias impermeáveis à umidade (resina sintética, betume, etc.);
- papel-carbono;
- papel sanitário usado, tais como papel higiênico, papel-toalha, guardanapo e lenços de papel;
- papel sujo, engordurado ou contaminado com produtos químicos nocivos à saúde;
- certos tipos de papéis revestidos (com parafina e silicone).

Para outros tipos de papel, a reciclagem só é viável se estes forem tratados separadamente, como é o caso das embalagens cartonadas tipo longa vida, pois, assim procedendo, o processo adequado para a recuperação das fibras celulósicas pode ser aplicado. Normalmente, estes tipos de papel, se tratados em conjunto com outros, acabam trazendo problemas no processo de reciclagem e, conseqüentemente, na qualidade do produto obtido.

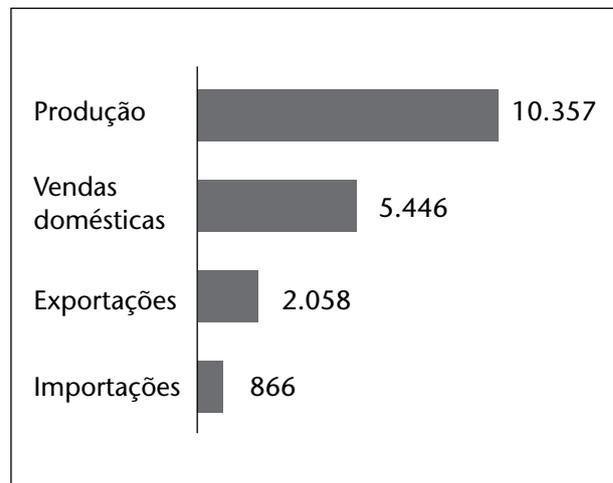
4.4 Papéis Manufaturados com Aparas

No Brasil, muitos são os papéis confeccionados total ou parcialmente com fibras provenientes de aparas:

- papel de impressão e de escrever;
- papéis de embalagens leves e embrulhos (como os denominados estiva, maculatura, manilhinha, manilha, HD, hamburguês, Havana, LD, macarrão, tecido, *strong* de primeira e de segunda);
- papéis de embalagens pesadas (como capa e miolo, usados na fabricação de papelão ondulado);
- cartões (como o triplex e o duplex, papelão);
- papéis de fins sanitários (como papéis higiênicos populares ou, até mesmo, certos tipos de toalha, guardanapo e lenço de papel).

Também são feitos com aparas de papel os artefatos de *polpa moldada*, que têm usos diversos, como, por exemplo, bandeja de ovos e suporte para o acondicionamento de legumes (bandejas) e de frutas (como os das caixas de maçã).

A Figura 5 apresenta o resultado do setor de aparas no Brasil.



Fonte: IBÁ, 2015⁵

Figura 5 – Resultado do Setor de Aparas em 2015 (em 1.000 toneladas)

4.5 Processo de Reciclagem

O processo para obtenção da pasta celulósica de aparas é função do tipo de aparas a ser processado e do produto a ser fabricado. Porém, todos apresentam, de modo geral, as operações indicadas na Figura 6.

A pasta celulósica procedente do processamento de aparas pode ser utilizada tanto para a fabricação de polpa moldada como de papel, como, também mostra a Figura 6.

A reciclagem de papel representa uma redução no consumo de energia e água, e na poluição da água e do ar. Os dados mostrados na Tabela 3 devem servir apenas como uma orientação, pois índices deste tipo em sua maioria são aproximações e desconsideram uma série de fatores.⁷

Tabela 3 – Benefícios da substituição de recursos virgens por materiais secundários

Redução de	Material			
	Alumínio (%)	Aço (%)	Papel (%)	Vidro (%)
uso de energia	90-97	47-74	23-74	4-32
uso de água	-	40	58	50
poluição do ar	95	85	74	20
poluição da água	97	76	35	-

Fonte: CORSON ⁷

No processo de reciclagem de papel, são fatores desfavoráveis:

- a falta de homogeneidade das aparas;
- a dificuldade de se eliminar totalmente as impurezas durante o processamento das aparas, gerando no papel o aparecimento de *stickies*, termo usado para designar o material de caráter elástico e pegajoso que se deposita sobre o papel, prejudicando sua aparência ou causando efeitos adversos durante seu uso;
- descarte e tratamento dos rejeitos gerados durante o processamento das aparas.

Uma fibra celulósica não pode ser reciclada infinitamente pois suas características de resistência são perdidas após um certo número de reciclagem. Estudos indicam uma faixa de 7 a 10 vezes.

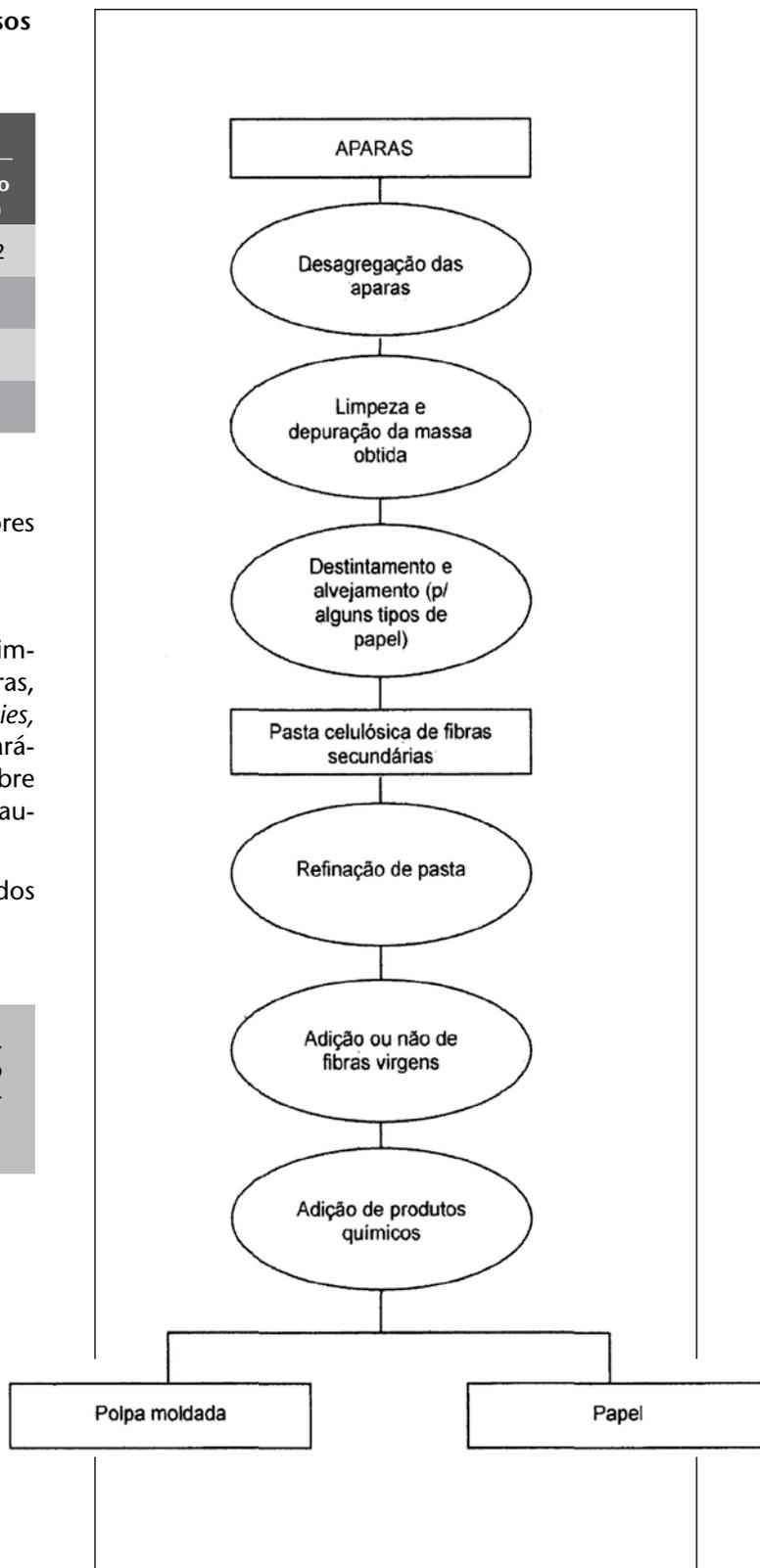


Figura 6 – Obtenção de pasta celulósica, papel e polpa moldada a partir de aparas

Atualmente, a tecnologia de reciclagem de papel está de tal modo adiantada tecnologicamente que permite até mesmo a reciclagem de materiais antes considerados não-recicláveis. Este é o caso das embalagens cartonadas tipo longa vida. Estas são compostas de camadas de papel, plástico e, eventualmente, alumínio.

O princípio de reciclagem deste tipo de embalagem consiste na hidratação das mesmas, em equipamento apropriado, ocorrendo a separação das fibras celulósicas, do plástico com alumínio.

As fibras celulósicas recuperadas são utilizadas na fabricação de papel e o resíduo composto por plástico com o alumínio é usado na fabricação de peças plásticas.¹⁰

A figura 7 ilustra o processo de reciclagem de embalagens cartonadas tipo longa vida.

Além do processo acima, tem-se outras opções, como a queima do resíduo alumínio-plástico, com recuperação do alumínio e do plástico (tecnologia de plasma).

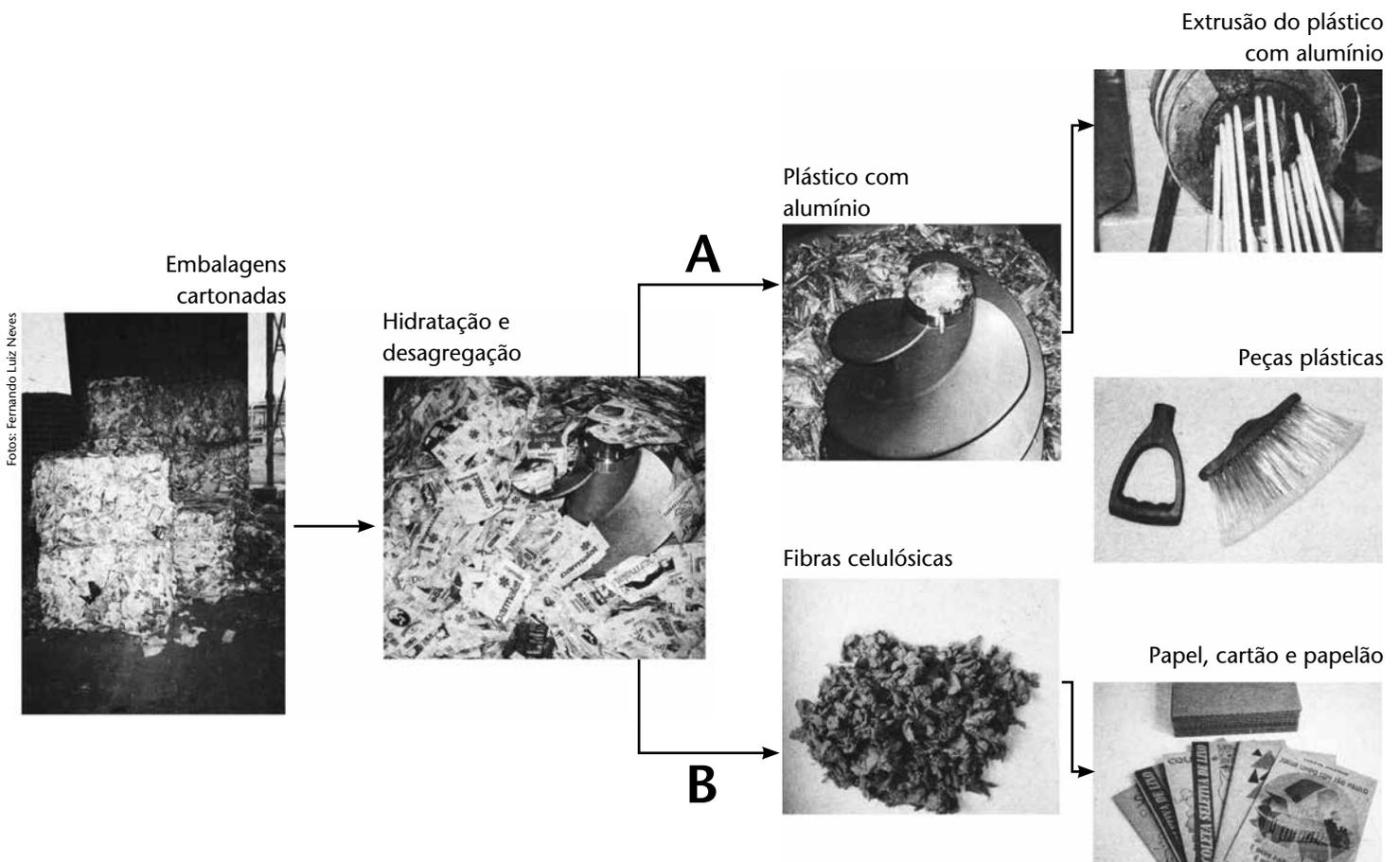


Figura 7 – Desagregação de embalagens cartonadas tipo longa vida e seus produtos

5 FATORES FAVORÁVEIS À RECICLAGEM DO PAPEL

O uso de fibras recicladas para a fabricação de papel não é recente e teve sua origem devido a fatores econômicos. Países e fábricas que não dispunham de florestas próprias tinham nas aparas uma matéria-prima acessível, de preço relativamente baixo e que permitia fabricar produtos aceitáveis e competitivos.

Hoje, a força que propulsiona a reciclagem de papel ainda é econômica, mas o fator ambiental tem servido também como alavanca.

A preocupação com o meio ambiente criou uma demanda por “produtos e processos amigos do meio ambiente” e reciclar papel é uma forma de responder, a esta demanda.

Assim, os principais fatores de incentivo à reciclagem de papel, além dos econômicos, são: a preservação de recursos naturais (matéria-prima, energia e água), a minimização da poluição e a diminuição da quantidade de lixo que vai para os aterros. Dentre estes, certamente o último é o que tem tido maior peso nos países que adotam medidas legislativas em prol da reciclagem.

A Figura 8 mostra a equivalência entre a obtenção de pasta celulósica a partir de aparas e de madeira.

Outro ponto a favor da reciclagem é a evolução dos processos tecnológicos de fabricação de papel a partir de aparas, permitindo a manufatura de produtos de melhor qualidade e o processamento de papéis antes não recicláveis e de matérias-primas mais contaminadas (com maior teor de impurezas e de materiais proibitivos). Os avanços que vêm ocorrendo nos sistemas de limpeza e fracionamento de fibras têm possibilitado, cada vez mais, a fabricação de papéis de alta qualidade a partir de aparas.

6 FATORES DESFAVORÁVEIS À RECICLAGEM DO PAPEL

Para a reciclagem de papel, alguns aspectos não são tão positivos, podendo ser até mesmo negativos. Entre eles, os mais significativos são:

- *Flutuação no mercado de aparas* – A dependência do mercado de aparas de papel com o de pasta celulósica de fibras virgens faz com que o preço da primeira flutue de acordo com a oferta da segunda. No caso de aparas, as flutuações

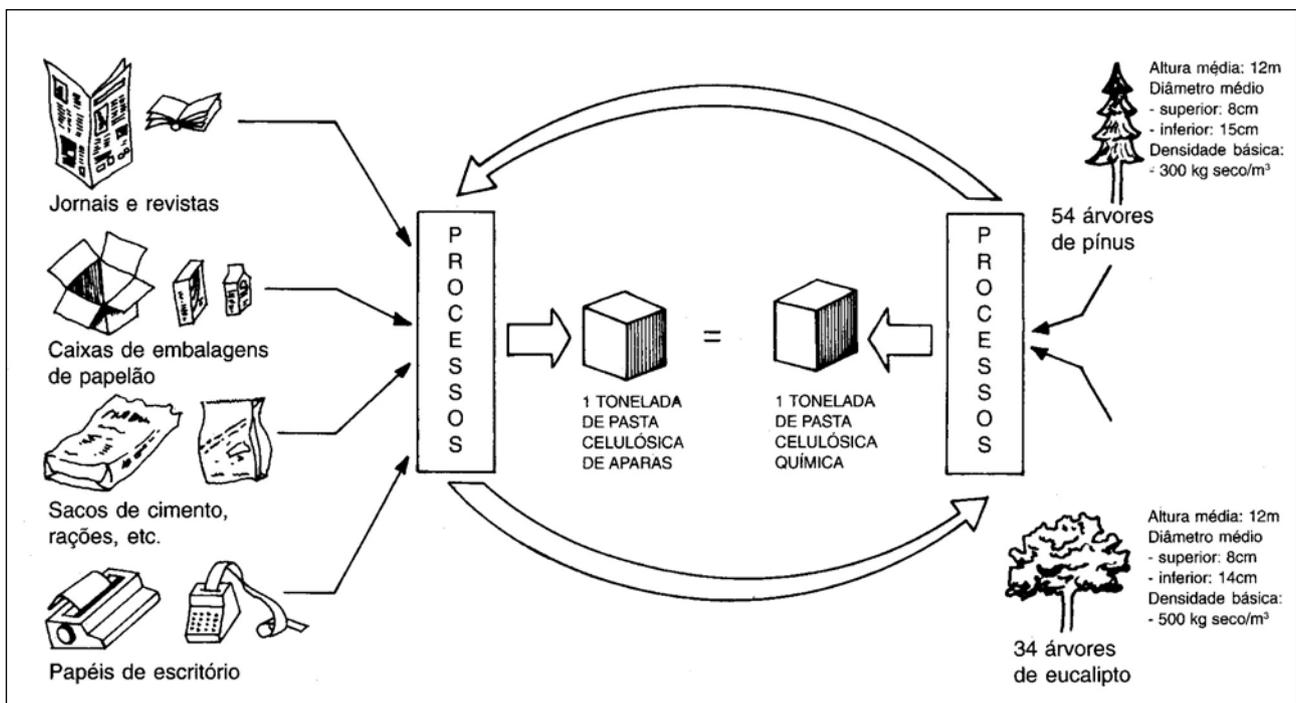


Figura 8 – Equivalência entre pasta celulósica de aparas e de madeira

de mercado não podem ser resolvidas com sua estocagem, uma vez que, além desta representar um custo, o papel degrada com o tempo.

- *Logística de transporte* – No caso do Brasil, por exemplo, o custo do transporte pode inviabilizar o aproveitamento de aparas.
- *Fibras recicladas têm custo menor porém qualidade pior* – O custo de investimento para uma fábrica de pastas celulósicas de fibras virgens é bem maior que para pastas de fibras recicladas. Porém, a qualidade das fibras recicladas é inferior à das fibras virgens. Certos tipos de papel podem conter altas porcentagens de fibras recicladas, porém outros perdem propriedades importantes, até mesmo com uma pequena fração desse tipo de fibras.
- *A reciclagem favorece a liberação de dióxido de carbono* – Segundo a FAO^{11,12}, a produção de pastas de alto rendimento de madeira consome mais energia elétrica do que a produção de pastas celulósicas de fibras secundárias. Por outro lado, o processamento químico da madeira gera resíduos e licores que, ao serem queimados, substituem os combustíveis fósseis. Como consequência, a expansão baseada em fibras recicladas leva à maior liberação de dióxido de carbono antropogênico. É importante diminuir este tipo de emissão para evitar o aquecimento global.

DIÓXIDO DE CARBONO BIOGÊNICO X ANTROPOGÊNICO

Nas emissões de dióxido de carbono, deve-se diferenciar o biogênico do antropogênico. O primeiro origina-se da queima da biomassa e o segundo, da combustão de fósseis.

Teoricamente, a emissão de dióxido de carbono biogênico não contribui para o aumento desse gás na atmosfera, uma vez que a biomassa absorve a quantidade correspondente durante seu crescimento. O mesmo não ocorre com o dióxido de carbono antropogênico.¹³

Em 1997, foi assinado em Kyoto, Japão, dentro da convenção das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas, o denominado *Protocolo de Kyoto*, no qual os países signatários se propõem a reduzir emissões de gases que provocam efeito estufa na atmosfera em níveis 5,2% abaixo dos níveis existentes em 1990^{14,15}. Um novo acordo global foi aprovado em 2015, na COP21

em Paris, onde as metas de redução de emissões são definidas por cada país (desenvolvidos e em desenvolvimento), de acordo com suas possibilidades.

Florestas em crescimento absorvem mais dióxido de carbono, um dos principais contribuintes para o efeito estufa, do que as florestas maduras ou em declínio. Deste modo, um cenário onde a reciclagem de papel é menor, favorecendo novas plantações e remoção de árvores crescidas, é benéfico para a remoção de dióxido de carbono^{11,12}. Uma plantação de 200 mil hectares de pinus ou eucalipto poderia absorver cerca de cinco milhões de toneladas por ano¹⁵.

7 RECICLAGEM DE PAPEL NO BRASIL

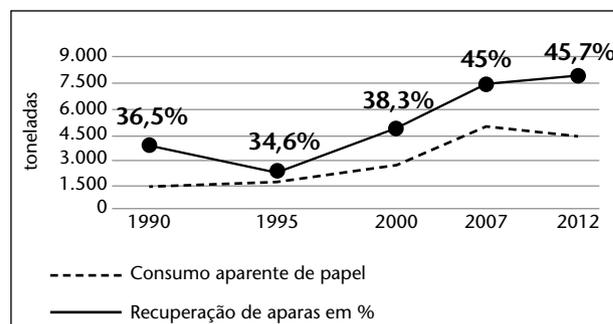
O Brasil é o quarto produtor mundial de pasta celulósica e o primeiro de celulose de eucalipto de papel (Tabela 4).

Tabela 4 – Produção de pasta celulósica e papel no Brasil

País	Pasta celulósica (milhões/t)	Papel (milhões/t)
Brasil	15,1	10,4
EUA*	50,4	74,4
Mundial	167,8	400

(*) Maior produtor mundial de pasta celulósica e segundo de papel.
Fonte: IBÁ, 2013

O próprio perfil da produção brasileira de papel – 53% de papéis para embalagem, material que favorece o uso de fibras secundárias – faz com que o País tenha um índice alto de reciclagem. A Figura 9 mostra um gráfico, onde pode-se verificar a recuperação e o consumo de aparas no Brasil, de 1990 até 2007. A diferença entre as curvas de recuperação e consumo fica por conta da importação e exportação de aparas.



Fonte: IBÁ, 2013

Figura 9 – Recuperação de aparas no Brasil

O Brasil reciclou, no ano de 2012, 45,7% do papel existente (produção mais importação menos exportação).

Considerando que nem todos os papéis existentes são recicláveis e que parte não está disponível para reciclagem (como os utilizados em livros e documentos), esta porcentagem aumenta significativamente.

8 RECICLAGEM DE PAPEL NO MUNICÍPIO

O Município, antes de incentivar a coleta de aparas de papel, ou de efetuar-la, deve verificar se há na região demanda por essa matéria-prima e se a quantidade que eventualmente irá coletar atenderá esta demanda, sem oscilações significativas. Também deve considerar todos os custos envolvidos, como os de coleta, armazenamento e transporte.

Deve ser ressaltado que, a não ser em raras exceções, a fabricação de papel manual a partir de

aparas não representa uma saída para o “lixo papel”, pois, pelo próprio caráter do empreendimento, utiliza uma quantidade relativamente pequena do total de papel descartado. Além disso, sob o ponto de vista ambiental, a maioria das unidades de fabricação de papel manual descartam seus rejeitos sem critério e produzem muitos papéis que não podem ser reciclados novamente por terem incorporados neles outros materiais, como folhas, casca de plantas, fios, etc.

A produção de papel manual a partir de aparas deve ser vista como uma atividade artística ou social.

Exemplo deste último caso é a ADERE – Associação para Desenvolvimento, Educação e Recuperação de Excepcional, situada na cidade de São Paulo, que tem uma linha de produtos de papéis manuais, confeccionados por deficientes mentais. Estes deficientes recebem pelo trabalho que executam e são, assim, inseridos de modo digno à sociedade (Figura 10 e 11).



Figura 10 – Formação de uma folha manual por um membro da ADERE



Figura 11 – Linha de produtos de papéis manuais da ADERE

BIBLIOGRAFIA

1. HUNTER, D. 1947. Papermaking: the history and technique of an ancient craft. [s.l.]: Dover Publication. (Reedição da segunda edição revista e ampliada).
2. D'ALMEIDA, M. L. O. (Coord.). 1988. Celulose e papel: tecnologia de fabricação da pasta celulósica. São Paulo: IPT. v. 1. (IPT – Publicação, 1777).
3. D'ALMEIDA, M. L. O. (Coord.). 1988. Celulose e papel: tecnologia de fabricação de papel. São Paulo: IPT. v. 2. (IPT – Publicação, 1777).
4. ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. Aparas de papel e papelão ondulado – Classificação; NBR 15483:2009.
5. IBÁ - Indústria Brasileira de Árvores, 2015. www.iba.org.
6. D'ALMEIDA, M. L. O.; CAHEN, R. 1991. Considerações sobre o problema de stickies. In: CONGRESSO ANUAL DE CELULOSE E PAPEL, 24, 1991, São Paulo. Anais... São Paulo: ABTCP. p. 785-806.
7. CORSON, W. H. (Ed.). 1993. Manual global de ecologia: o que você pode fazer a respeito da crise do meio ambiente. Tradução de Alexandre Gomes Camaru. São Paulo: Editora Augustus. 413 p. (Título original: The global ecology handbook).
8. BUGAJER, S. 1976. O efeito de reciclagem de fibras secundárias sobre as propriedades de papel kraft. São Paulo: IPT/CTPC. 6 p. (Trabalho interno).
9. FERGUSON, L. D. 1992. Effects of recycling on strength properties. Paper Technology, v. 33, n. 10, p. 14-20.
10. ZUBEN, F.; NEVES, F. L. [s.d.]. Reciclagem de alumínio e polietileno presentes nas embalagens cartonadas tetra pak. São Paulo: Tetra Pak-Brasil.
11. FAO. 1993. Wood industry branch. Recycled fibers: issues and trends. [s.l.]. 144 p. (FO:MIS/93/10).
12. FAO. 1994. Wood industry branch: paper recycling scenarios. [s.l.]. (FO:MISC/94/4).
13. D'ALMEIDA, M. L. O. 1995. Reciclar versus não reciclar. O Papel, São Paulo, v. 56, jun. p. 33-37.
14. COSTA, P. M. 1998. Breve história da evolução dos mercados de carbono. Silvicultura, n. 77, set./dez. p. 24-33.
15. GUT, F. 1998. O real dimensionamento da emissão de CO₂. Silvicultura, n. 75, maio/ago. p. 42-48.

CAPÍTULO IV

PROCESSAMENTO DO LIXO

PARTE 4 – RECICLAGEM DE PLÁSTICO

1 INTRODUÇÃO

Plásticos são artefatos fabricados a partir de resinas (polímeros), geralmente sintéticas e derivadas do petróleo.

Uma das soluções que vem ganhando o apoio de grande número das entidades envolvidas com a questão ambiental refere-se ao reaproveitamento de plástico descartado no lixo urbano residencial e comercial. Constituído, em sua maior parte, por embalagens descartáveis (sacos, potes, copos, garrafas, brinquedos, etc.), representa volume significativo, e sua separação do restante do lixo traz uma série de benefícios à sociedade, como, por exemplo, o aumento da vida útil dos aterros, geração de empregos, economia de energia, etc.

Embora represente somente cerca de 4 a 7% em massa, os plásticos ocupam de 15 a 20% do volume do lixo, o que contribui para que aumentem os custos de coleta, transporte e disposição final. Como ilustração: um caminhão, com capacidade para transportar 12 toneladas de lixo comum, transportará apenas 6 a 7 toneladas de plástico compactado, ou 2 toneladas sem compactação.

Quando o lixo é depositado em lixões, os problemas principais relacionados ao material plástico provêm da queima indevida e sem controle. Quando a disposição é feita em aterros, os plásticos dificultam sua compactação e prejudicam a decomposição dos materiais biologicamente degradáveis, pois criam camadas impermeáveis que afetam as trocas de líquidos e gases gerados no processo de biodegradação da matéria orgânica.

A queima indiscriminada de plásticos pode trazer sérios prejuízos às pessoas e ao meio ambiente, pois alguns tipos de plástico ao serem queimados geram gases tóxicos. Como exemplo, pode ser citado o poli(cloreto de vinila) (PVC), o qual, ao ser queimado, libera cloro, podendo originar a formação de ácido clorídrico (muito corrosivo) e de dioxinas (substâncias altamente tóxicas e cancerígenas).

Sendo assim, sua remoção, redução ou eliminação do lixo são metas que devem ser perseguidas com todo o empenho. Os municípios brasileiros, que hoje já sentem os problemas advindos da dificuldade em gerenciar adequadamente o lixo

urbano, devem iniciar o trabalho voltado à resolução do problema, para evitar que se torne mais grave nos próximos anos. No Brasil, o consumo de plásticos, apesar de expressivo (35kg/hab. ano), ainda está longe daquele verificado nos países mais desenvolvidos (cerca de 100kg/hab. ano).

Tabela 1 – Produção mundial de resinas termoplásticas

País	Produção
China	62
Europa	50
Oriente Médio e África	18
Brasil	6,5

Fontes: ABIPLAST, 2014¹

A Tabela 1 mostra que a produção no Brasil ainda é baixa quando comparada com a de países mais desenvolvidos. No entanto, com a estabilização da economia em relação à inflação e ao crescimento econômico, o consumo de plástico descartável tende a aumentar rapidamente, aproximando-se, portanto, dos países mais desenvolvidos, pois existe um espaço muito grande de demanda a ser preenchido.

Desta forma, desde já deve-se tomar medidas preventivas para evitar o agravamento do problema, pois a não degradabilidade dos plásticos, por um lado, os credencia como materiais muito úteis, por outro, após o uso, devem ser reciclados.

Como será visto mais adiante, os plásticos, mesmo depois de serem utilizados na aplicação a que foram projetados, podem ainda ser muito úteis como material reciclado ou reutilizado.

2 TIPOS DE PLÁSTICO

Os plásticos são divididos em duas categorias importantes: termofixos e termoplásticos.

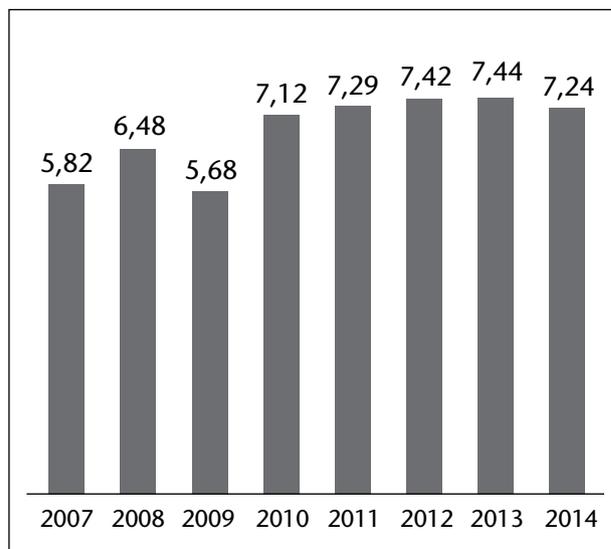
Os termofixos, que representam cerca de 20% do total consumido no país, são plásticos que, uma vez moldados por um dos processos usuais de transformação, não podem mais sofrer novos ciclos de processamento pois não fundem novamente, o que impede nova moldagem. O exemplo mais clássico é a “baquelite”.

Podem ainda ser citados alguns poliuretanos (PU) e poli(acetato de etileno vinil) (EVA), usados em solados de calçados; poliésteres, como os utilizados em piscinas, banheiras e na fabricação de telhas reforçadas com fibra de vidro; resinas fenólicas, utilizadas em revestimento de móveis, entre outros. Estes materiais, embora não possam mais ser moldados, ainda podem ser utilizados em outras aplicações, tais como cargas inertes após moagem, podendo ser incorporados em composições de outros plásticos ou outros materiais, como condicionadores de asfalto, etc.

Os termoplásticos, mais largamente utilizados, são materiais que podem ser reprocessados várias vezes pelo mesmo ou por outro processo de transformação. Quando submetidos ao aquecimento a temperaturas adequadas, esses plásticos amolecem, fundem e podem ser novamente moldados. Como exemplos, podem ser citados; polietileno de baixa densidade (PEBD); polietileno de alta densidade (PEAD); poli(cloreto de vinila) (PVC); poliestireno (PS); polipropileno (PP); poli(tereftalato de etileno) (PET); poliamidas (náilon) e muitos outros.

3 PLÁSTICOS DE MAIOR CONSUMO

Como mostra a Figura 1, o consumo aparente de resinas termoplásticas em 2014 ficou próximo a 7,24 milhões de toneladas, o que representou queda de 2,6% em relação a 2013. A produção, de 6,71 milhões de toneladas, recuou 3,5% na mesma comparação, o que se deve principalmente à retração de (-4,3%) da produção industrial brasileira no mesmo período. As exportações tiveram redução de 4%, ficando próximas a 236 mil toneladas, e as importações cresceram 5% no ano, superando o volume de 769 mil toneladas. A balança comercial do setor no Brasil é historicamente negativo em razão das elevadas importações de transformados plásticos e também pelo crescimento do valor médio das importações, em contraste com a estabilidade do valor médio das exportações (Abiplast, 2014). O consumo aparente é o resultado da soma da produção com as importações, menos as exportações.



Fonte: Abiplast, 2014¹

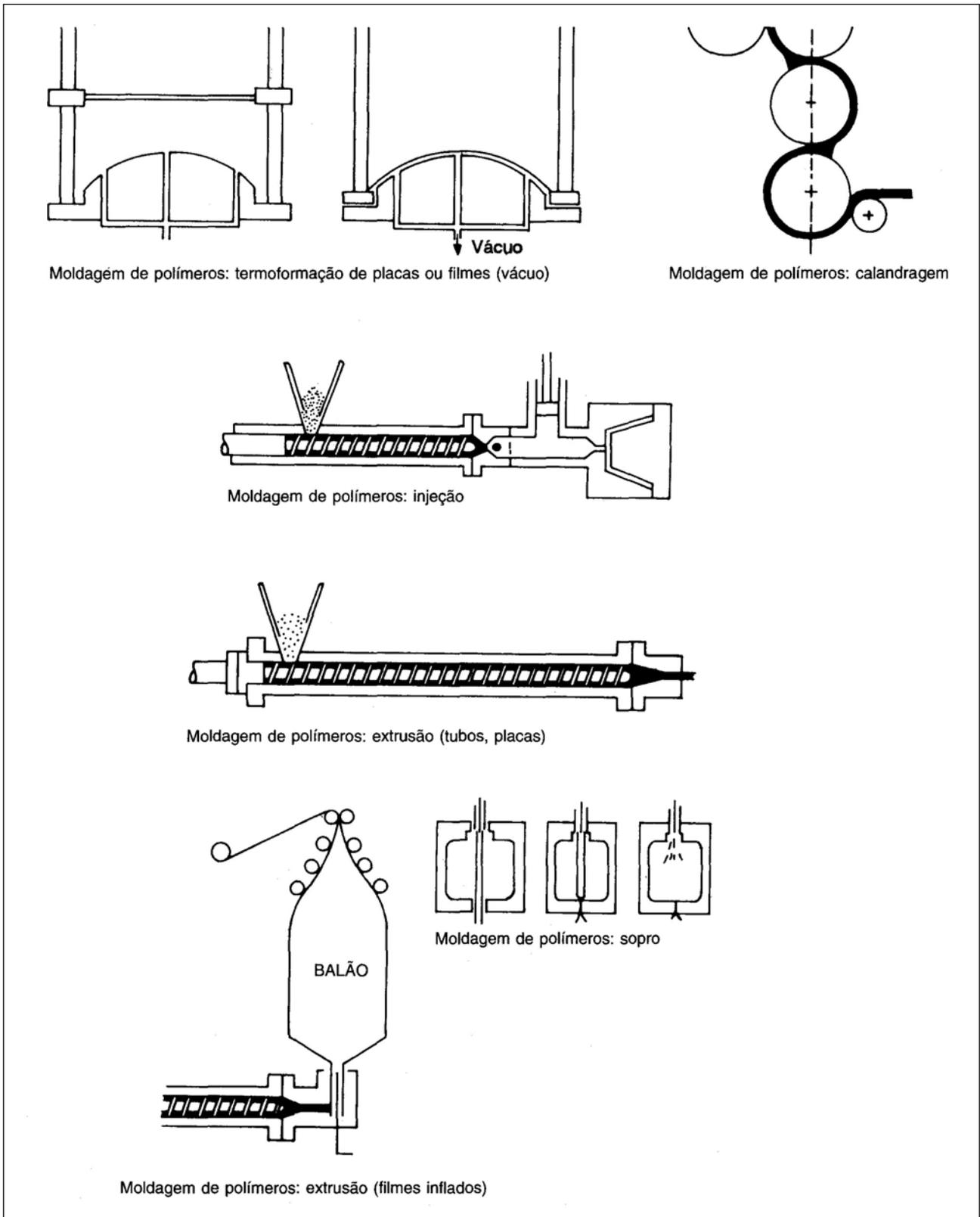
Figura 1 – Consumo aparente de resinas termoplásticas (em milhões de toneladas)

4 PROCESSOS UTILIZADOS PARA A FABRICAÇÃO DE PLÁSTICOS

Os plásticos podem ser fabricados ou transformados por diversas tecnologias ou processos (Figura 1). Os mais importantes são: injeção, moldagem por sopro, termoformagem, extrusão, rotomoldagem e calandragem. Alguns processos, como a extrusão e a calandragem, aplicam-se à fabricação de produtos semi-elaborados (laminados, perfis, tubos, filmes, etc.), enquanto outros são aplicados na fabricação de produtos acabados, como peças de máquinas (injeção) ou de recipientes e frascos (sopro, termoformagem, injeção, etc.).

5 GERAÇÃO DE RESÍDUOS NAS INDÚSTRIAS DE PLÁSTICO

Qualquer que seja a tecnologia utilizada na transformação de plásticos, sempre há uma certa quantidade de material residual gerada nas várias operações que compõem o processo. Esse material quase sempre pode ser recuperado e reciclado por tecnologias convencionais. Grande parte do resíduo é utilizado na própria indústria que o gerou e uma fração é vendida para outras empresas transformadoras ou que se dedicam à recuperação, reciclagem e/ou revenda.



Fonte: MANO³

Figura 2 – Processos de transformação de plásticos

6 LOCAL DE GERAÇÃO DO LIXO PLÁSTICO

O lixo plástico, na verdadeira acepção da palavra, é gerado principalmente em residências e estabelecimentos comerciais. É constituído, em sua maior parte, por embalagens descartáveis (sacos, potes, filmes, frascos, garrafas, etc.), e pode representar volumes consideráveis em algumas cidades. Em geral, 13,5% de todo resíduo produzido nas cidades brasileiras são plásticos.²

7 RECICLAGEM DE PLÁSTICO

Embora não seja oficial, pode-se classificar a reciclagem de plástico em três tipos de tecnologia: primária, secundária e terciária.

- *Reciclagem primária ou pré-consumo*: é a conversão de resíduos plásticos por tecnologias convencionais de processamento em produtos com características de desempenho equivalentes às daqueles produtos fabricados a partir de resinas virgens. Esses resíduos são constituídos por artefatos defeituosos, aparas provenientes dos moldes ou dos setores de corte e usinagem. A recuperação destes resíduos é efetuada na própria indústria geradora ou por outras empresas transformadoras. A reciclagem pré-consumo é feita com os materiais termoplásticos provenientes de resíduos industriais, os quais são limpos e de fácil identificação, não contaminados por partículas ou substâncias estranhas. O reaproveitamento deste material é realizado na própria indústria geradora dos resíduos ou por outros transformadores. Pode-se afirmar que praticamente 100% destes resíduos são reciclados e a qualidade dos artefatos produzidos com esse material é quase sempre a mesma daquela obtida com a utilização de resinas virgens.
- *Reciclagem secundária ou pós-consumo*: é a conversão de resíduos plásticos de lixo por um processo ou por uma combinação de operações. Os materiais que se inserem nesta classe provêm de lixões, sistemas de coleta seletiva, sucatas, etc. São constituídos pelos mais diferentes tipos de material e resina, o que exige uma boa separação para poderem ser aproveitados. Quando se fala em reciclagem de

plásticos de lixo, está se referindo à reciclagem pós-consumo. Devido à mistura com outros materiais, como restos de alimento, terra, traço, metal, vidro, papel, etc., torna-se necessário realizar a separação desses materiais da melhor forma possível. O problema é bastante minimizado quando se aplica um sistema de coleta seletiva de lixo, no qual as pessoas separam diversos tipos de materiais nas próprias residências e empresas comerciais, evitando-se, desta forma, a sua contaminação.

- *Reciclagem terciária*: é a conversão de resíduos plásticos em produtos químicos e combustíveis, por processos termoquímicos (pirólise, conversão catalítica). Por esses processos, os materiais plásticos são convertidos em matérias-primas que podem originar novamente as resinas virgens ou outras substâncias interessantes para a indústria, como gases e óleos combustíveis. A reciclagem terciária ainda não está sendo utilizada em grande escala devido ao seu custo elevado. Os investimentos necessários para esta reciclagem são mais elevados do que para as reciclagens primária e secundária.

Embora não seja considerado um processo de reciclagem, a incineração é realizada em muitos países para a conversão de resíduos plásticos em energia. Neste processo, os plásticos são queimados pura e simplesmente com a finalidade de gerar energia térmica (ver Capítulo IV – Processamento do Lixo – Parte 9: Tratamento Térmico). Deve ser levado em conta que o valor energético dos plásticos é equivalente ao de um óleo combustível, 37,7 MJ/kg (9.000 kcal/kg) e, por esta razão, podem se constituir em valiosa fonte energética se não houver possibilidade de serem reciclados por uma das alternativas anteriores. Como ilustração, as 700 toneladas de plástico por dia no lixo da cidade de São Paulo equivalem a cerca de 5.000 barris de petróleo, o que representam 0,3% do consumo do país.

8 IDENTIFICAÇÃO DOS TIPOS DE PLÁSTICO

Das empresas brasileiras que se dedicam à recuperação e/ou reciclagem de materiais plásticos, uma grande parte trabalha apenas com resíduos industriais, os quais, quando provenientes de empresas idôneas, apresentam qualidade muito boa tanto

com relação à homogeneidade quanto à contaminação por outros plásticos ou por partículas estranhas.

Porém, devido ao baixo custo da matéria-prima, várias pequenas e microempresas operam com plásticos coletados em lixões, centros de triagem de lixo, sucateiros que adquirem materiais de catadores e lixo da indústria e comércio. Sabe-se que alguns recicladores utilizam, inclusive, plásticos de lixo hospitalar e embalagens de defensivos agrícolas. A dificuldade em reciclar os resíduos plásticos reside, justamente, no fato de que estes se encontram misturados, existindo a necessidade de se separar os diferentes tipos por serem incompatíveis entre si e não poderem ser processados em equipamento convencional. Sendo assim, os recicladores procuram adquirir a matéria-prima desejada previamente separada, embora sempre haja necessidade de proceder a uma inspeção visual para separar plásticos indesejados, os quais, invariavelmente, estão presentes em cada lote recebido.

A separação dos diversos plásticos por tipo de resina é um problema que ainda não foi resolvido e é um dos motivos que tem restringido a reciclagem de plásticos. Apesar dos muitos estudos e pesquisas já realizados e em desenvolvimento, não se chegou, até hoje, a um processo que possa, de maneira rápida, automática e eficiente, efetuar a perfeita separação dos plásticos. Muitos artefatos são fabricados com mais de um tipo de resina, o que dificulta ainda mais a separação.

Já existe no exterior, e começa a ser aplicada por algumas empresas brasileiras, uma codificação das resinas utilizadas na fabricação de artefatos plásticos. A idéia é imprimir no artefato, ou na embalagem ou no rótulo, o código correspondente à resina utilizada ou as preponderantes quando de uma mistura, de acordo com sistema mostrado na Figura 2.

Esse sistema foi desenvolvido para auxiliar os recicladores a identificar e separar os plásticos manualmente enquanto se aguarda o desenvolvimento de um sistema automático para cumprir essa tarefa.

Existe outra forma simples de identificar alguns dos plásticos encontrados no lixo. Essa metodologia é baseada em algumas características físicas e de degradação térmica dos plásticos. Pode, também, ser muito útil quando existirem dúvidas quanto ao tipo de resina. Algumas dessas características são mostradas a seguir.

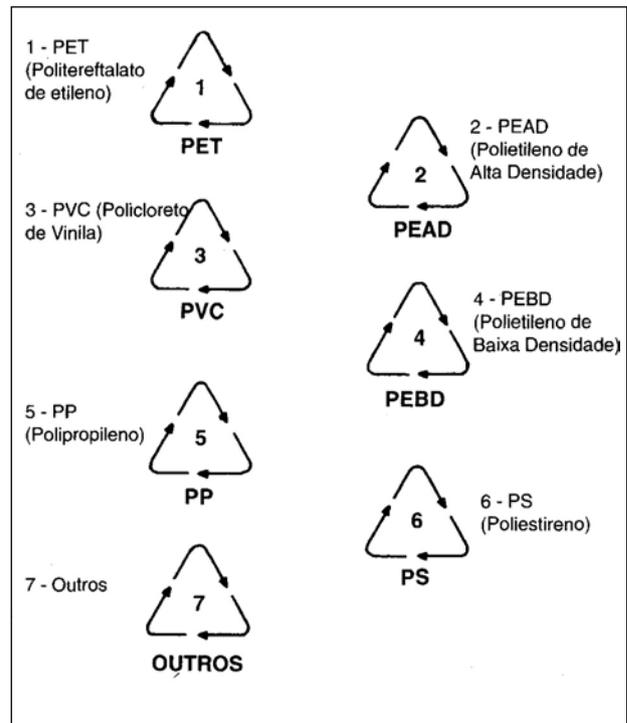


Figura 3 – Sistema internacional de codificação de plásticos

• **Polietilenos de baixa e de alta densidade:**

- baixa densidade (flutuam na água);
- amolecem à baixa temperatura (PEBD = 85°C; PEAD = 120°C);
- queimam como vela, liberando cheiro de parafina;
- superfície lisa e “cerosa”.

• **Polipropileno:**

- baixa densidade (flutua na água);
- amolece à baixa temperatura (150°C);
- queima como vela, liberando cheiro de parafina;
- filmes, quando apertados nas mãos, fazem barulho semelhante ao celofane.

• **Poli(cloreto de vinila):**

- alta densidade (afunda na água);
- amolece à baixa temperatura (80°C);
- queima com grande dificuldade, liberando um cheiro acre de cloro;
- é solubilizado com solventes (cetonas).

• **Poliestireno:**

- alta densidade (afunda na água);
- quebradiço;
- amolece à baixa temperatura (80 a 100°C);
- queima relativamente fácil, liberando fumaça preta com cheiro de “estireno”;
- é afetado por muitos solventes.

• **Poli(tereftalato de etileno):**

- alta densidade (afunda na água);
- muito resistente;
- amolece à baixa temperatura (80°C);
- utilizado no Brasil em embalagens de refrigerantes gasosos, óleos vegetais, água mineral, etc.

Pode-se verificar, pelo exposto anteriormente, que os plásticos têm algumas características diferentes entre si que podem ser úteis para a sua separação. De fato, grande parte, senão a maioria das empresas recicladoras de plástico de lixo, faz a separação e a purificação dos plásticos pela diferença de densidade (alguns plásticos flutuam na água, outros submergem e, desta forma, podem ser separados). A título de ilustração, a Tabela 3 mostra as densidades de alguns plásticos.

Tabela 3 – Densidade de plásticos peletizados

Tipos de Plásticos	Densidade (g/cm ³)
Proliprolineno (PP)	0,900-0,910
Polietileno de Baixa Densidade (PEBD)	0,910-0,930
Polietileno de Alta Densidade (PEAD)	0,940-0,960
Poliestireno (PS)	1,040-1,080
Poli(cloreto de vinila) (PVC)	1,220-1,300
Poli(tereftalato de etileno) (PET)	1,220-1,400

Além disso, algumas embalagens e alguns artefatos são tão tradicionais que a sua identificação torna-se relativamente simples. O Quadro 1 apresenta alguns exemplos típicos.

Quadro 1 – Tipos de plástico utilizados na fabricação de alguns artefatos

Artefato	Tipo de Plástico
Baldes, garrafas de álcool, bombonas	PEAD
Condutores para fios e cabos elétricos	PVC, PEBD, PEAD, PP
Copos de água mineral	PP e PS
Copos descartáveis (café, água, cerveja, etc.)	PS
Embalagem de massas e biscoitos	PP, PEBD
Frascos de detergente e produtos de limpeza	PP, PEAD, PEBD e PVC
Frascos de xampu e artigos de higiene	PEBD, PEAD, PP
Gabinetes de aparelhos de som e TV	PS
Garrafas de água mineral	PVC, PEAD, PET, PP
Garrafas de refrigerante	PET (rótulo em PEBD, tampa em PP e retentor em EVA)
Garrafões de água mineral	PC, PVC, PEAD, PP
“Isopor”	PS
Lonas agrícolas	PVC, PEAD, PEBD
Potes de margarina	PP
Sacos de adubo	PEBD
Sacos de lixo	PEBD, PEAD, PVC
Sacos de rafia	PP
Tubos de águas de esgoto	PVC (também há de PP e PEAD)

9 REAPROVEITAMENTO DE MATERIAIS PLÁSTICOS

O reaproveitamento de materiais plásticos pelo seu reprocessamento pode ser feito por dois processos distintos: com e sem a separação das resinas.

9.1 Com a Separação dos Plásticos por Tipo de Resina

A recuperação e a reciclagem de plásticos separados por tipo de resina podem ser subdivididas nas etapas discriminadas no Quadro 2 e um fluxograma típico é apresentado na Figura 3.

Quadro 2 – Reciclagem de plásticos separados por tipo de resina

Etapas	Descrição
Separação	Identificação dos plásticos PEBD, PEAD, PVC, PP, PS, PET, outros
Regeneração	Trituração Lavagem Secagem Aglutinação Extrusão Granulação
Pós-tratamento	Aditivação Peletização
Transformação	Novo artefato

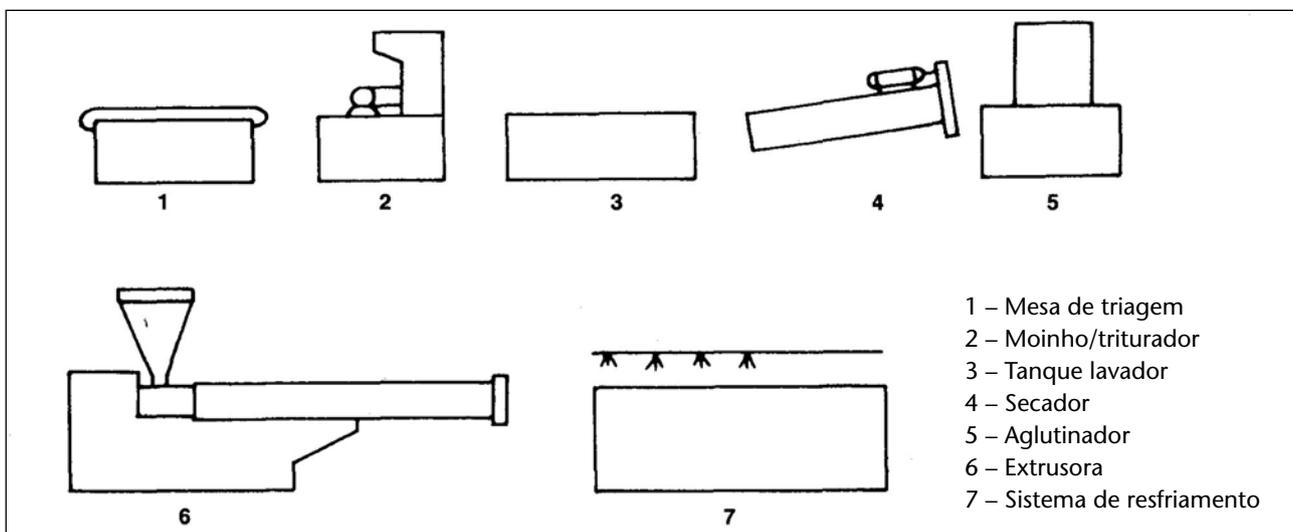


Figura 4 – Processos de recuperação de plásticos separados

9.2 Sem a Separação das Resinas

Significa o reaproveitamento de misturas de plásticos. Como já comentado anteriormente, a etapa mais crítica do processo é a identificação e a separação dos diversos tipos de plástico. A mistura indiscriminada de diferentes resinas resultaria em produtos de baixa qualidade e, muitas vezes, inaproveitáveis. As principais etapas envolvidas nesse processo são mostradas no Quadro 3. A Figura 4 apresenta, esquematicamente, um exemplo típico do processo.

Esta alternativa exige altos investimentos em equipamentos especiais (uma planta pode custar

alguns milhões de dólares), necessários para a obtenção de produtos com boa qualidade, atualmente fabricados apenas no exterior. A desvantagem desse processo, além do elevado investimento, é a restrição à produção de artefatos. Devido à sua concepção, só permite a fabricação de peças com espessuras relativamente grandes. Porém, já existem empresas no Brasil empregando este processo para a fabricação da chamada “madeira plástica”, usada na construção civil na forma de pontaltes, escoras, formas de concreto, tábuas e sarrafos, mourões de cerca, bancos de jardim, perfis, etc.

Quadro 3 – Etapas envolvidas no processo de recuperação de mistura de plásticos

Etapas	Descrição
Regeneração	Trituração Lavagem Secagem Aglutinação (Aditivação) (Peletização)
Transformação	Extrusão/Injeção/Prensagem

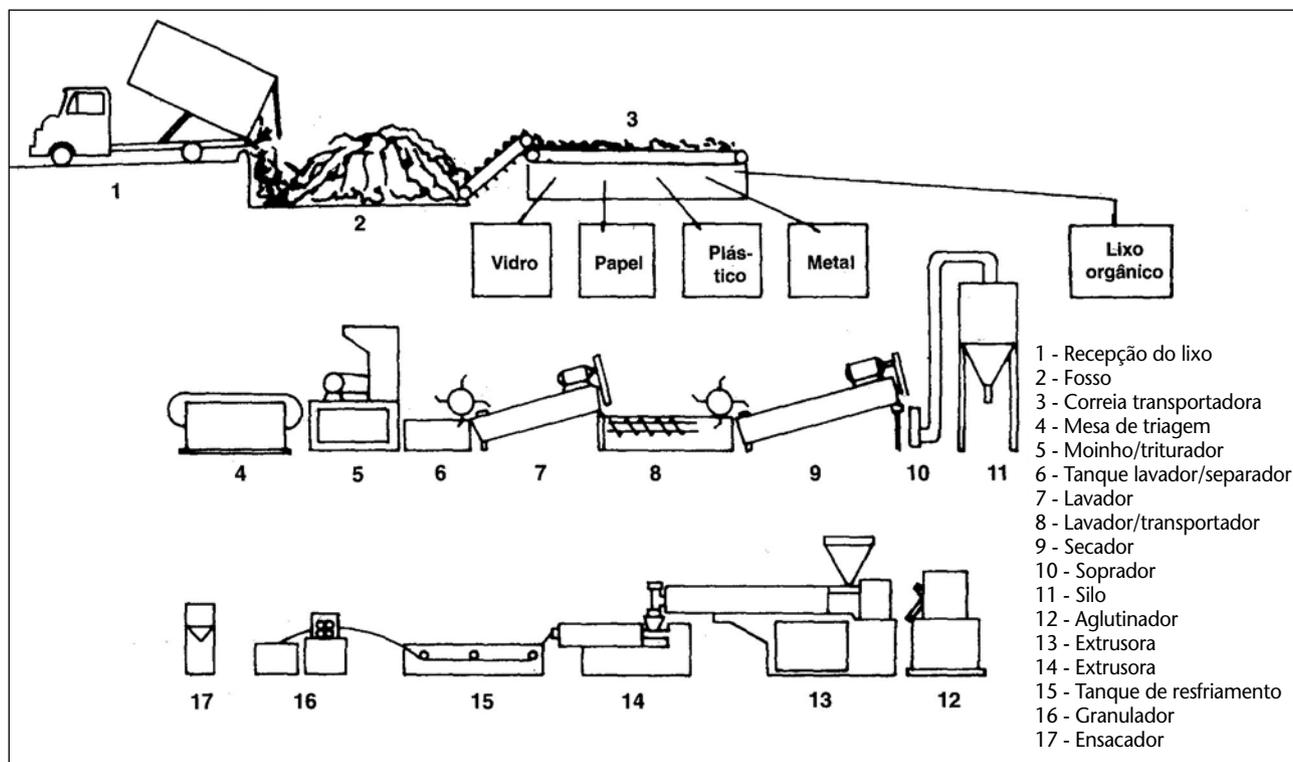


Figura 5 – Reciclagem de uma mistura de plásticos

10 BENEFÍCIOS DA RECICLAGEM DE PLÁSTICO

A reciclagem dos materiais plásticos encontrados no lixo urbano traz vários benefícios ambientais, sociais e econômicos para a sociedade, dentre os quais, destacam-se:

- redução do volume de lixo coletado que é removido para os aterros sanitários, propiciando aumento da vida útil e redução dos custos de transporte;
- economia de energia e petróleo, pois a maioria dos plásticos são derivados de petróleo, e

um quilo de plástico equivale a um litro de petróleo em energia;

- geração de empregos (catadores, sucateiros, operários, etc.);
- menor preço para o consumidor dos artefatos produzidos com plástico reciclado (em média, os artefatos produzidos com plástico reciclado são 30% mais baratos do que os mesmos produtos fabricados com matéria-prima virgem);
- melhorias sensíveis no processo de decomposição da matéria orgânica nos aterros sanitários, uma vez que o plástico impermeabiliza as camadas de material em decomposição, prejudicando a circulação de gases e líquidos.

11 DIFICULDADES PARA A IMPLANTAÇÃO DA RECICLAGEM DE PLÁSTICO

A implantação de um sistema de coleta seletiva e de processos para a adequada separação de materiais plásticos do lixo apresenta alguns obstáculos, que devem ter soluções diferenciadas, em função das diversas características de cada município ou região.

Dentre os problemas mais comuns, podem ser relacionados os seguintes:

- o custo da coleta seletiva é maior do que o da coleta convencional;
- a importância de se conscientizar os cidadãos sobre a necessidade e os benefícios gerados pela coleta seletiva;
- a escassez de empresas interessadas em comprar o material separado;
- as grandes distâncias que, às vezes, separam o município do mercado comprador;
- a dificuldade em separar corretamente os diversos tipos de plástico;
- a difícil tarefa em garantir um fornecimento contínuo de matéria-prima de boa qualidade aos compradores.

12 COMERCIALIZAÇÃO DO PLÁSTICO RECICLADO

O plástico proveniente do lixo pode ser comercializado em diversas formas e diferentes estágios de preparo, dependendo dos sistemas de coleta e separação, do beneficiamento, da disponibilidade de empresas recicladoras na região, etc. De forma geral, as empresas que se dedicam à reciclagem ou revenda desse tipo de material preferem adquiri-lo previamente separado e limpo, pois assim, mais facilmente, poderá ser processado. É, portanto, conveniente que a Prefeitura ou uma associação credenciada para tal monte uma estrutura mínima para preparar os plásticos visando atender o mercado comprador. Seja pela coleta seletiva, seja pela coleta convencional, os plásticos devem passar por um processo que possibilite sua adequação a uma posterior transformação. Dessa forma, podem ser comercializados sob as seguintes formas:

- *plástico misturado*: os plásticos são separados dos outros materiais que compõem o lixo, pela triagem (catação) manual em uma esteira rolante; após a separação, o material é embalado em sacos plásticos e prensados em enfardadeira, amarrados e rotulados;
- *plástico separado*: os plásticos são separados por tipo de resina, pela triagem (catação) manual em uma esteira rolante; cada operário será responsável pela retirada apenas de um ou dois tipos de plástico e os depositará em recipientes identificados com o nome ou símbolo da resina. Os plásticos, assim separados, são prensados, enfardados, amarrados e identificados convenientemente;
- *plástico triturado*: depois da separação por tipo de resina, os plásticos são triturados em moinos de facas, numa granulometria adequada, ensacados e identificados corretamente;
- *plástico aglutinado*: se for conveniente, os filmes plásticos poderão ser comercializados na forma aglutinada. Para isso, os plásticos, após serem triturados, são lavados em um tanque com água, secos em um “batedor” com o auxílio de “sopradores” de ar e adensados em um aglutinador. Esse equipamento é um cesto rotativo, semelhante ao de uma máquina de lavar roupa, que ao girar aquece o plástico por atrito, secando e adensando o material triturado. O material ao ser retirado do granulador é resfriado ao ar e ensacado, recebendo etiqueta de identificação;
- *plástico granulado ou peletizado*: embora alguns equipamentos possam transformar diretamente o plástico aglutinado, é conveniente que esse material passe por uma extrusora, seguida por um granulador; ao passar pela extrusora, o material é fundido, homogeneizado e obrigado a passar em uma matriz contendo diversos orifícios, dos quais sairão os fios de plástico (espaguete). Esses fios são resfriados em um banho de água fria e cortados em pedaços de cerca de 2 a 3 mm em equipamento granulador. A seguir, o material granulado é ensacado e etiquetado.

É evidente que o preço do material a ser comercializado aumenta à proporção do seu beneficiamento, bem como o seu custo. A opção por uma das al-

ternativas apresentadas depende, basicamente, das características da coleta, do tamanho do município, da disponibilidade de área, da localização de indústrias do setor próximas, enfim, de um conjunto de fatores que determinará a escolha mais adequada.

13 SITUAÇÃO BRASILEIRA E PROJEÇÕES FUTURAS

Como já mostrado na Tabela 1, o Brasil ainda consome pouco plástico, quando comparado aos países mais desenvolvidos. É de se supor, portanto, que a demanda aumentará muito nos próximos anos e, se não houver bom planejamento para o perfeito gerenciamento dos resíduos plásticos, com certeza as conseqüências serão semelhantes àquelas já vividas por alguns países.

A reciclagem/reutilização de materiais plásticos é uma condição essencial para a redução de resíduos, pois significam em volume cerca de 20% de todo o lixo urbano, e sua eliminação contribuirá significativamente para o melhor aproveitamento dos recursos e conseqüente melhoria da qualidade de vida dos cidadãos. As Prefeituras devem inclusive criar incentivos (fiscais, estruturais, etc.) para motivar e conscientizar os cidadãos e as empresas a participarem ativamente do processo, bem como incentivar a utilização de produtos reciclados. Assim agindo, as Prefeituras estarão dando exemplo e o aval para o

consumo dos plásticos reciclados, ajudando a combater alguns dos tabus ainda existentes.

Embora haja, em certos casos algumas limitações e restrições para a utilização do plástico oriundo do lixo urbano (embalagens de alimentos, produtos farmacêuticos e hospitalares e alguns tipos de brinquedos), se adequadamente tratado, esta matéria-prima pode ser utilizada na fabricação de muitos produtos, mantendo quase que as mesmas propriedades daqueles feitos com matéria-prima virgem. Portanto, o preconceito ainda existente que impede um maior uso desta matéria-prima reside na falta de informação e também na existência de alguns transformadores que insistem na tese de que a competitividade só é alcançada quando se tem baixo preço, não importando a qualidade do produto. Deve ser ressaltado que existem normas técnicas e especificações que devem ser atendidas, não importando se a matéria-prima é virgem ou reciclada.

A reciclagem dos plásticos tem contribuído efetivamente para o desenvolvimento de artefatos de boa qualidade e de baixo custo, tornando possível o seu acesso por uma boa parte da população de baixo poder aquisitivo, tais como: condutores elétricos, mangueiras, sacos de lixo, utensílios domésticos, etc., e de produtos industriais de alto desempenho, tais como: *pallets*, tábuas, mourões e perfis de “madeira plástica”, e um sem número de outros produtos.

BIBLIOGRAFIA

1. ABIPLAST – Associação Brasileira da Indústria do Plástico. Indústria Brasileira de Transformação de Material Plástico. Perfil 2014.
2. IPEA, 2010 in CEMPRE, 2014 “Guia da Coleta Seletiva de Lixo”.
3. MANO, E. B. 1986. Introdução a polímeros. [s.l.]: Edgar Blücher.

CAPÍTULO IV

PROCESSAMENTO DO LIXO

PARTE 5 – RECICLAGEM DE VIDRO

1 INTRODUÇÃO

A definição de vidro dada pela *American Society for Testing and Materials (ASTM)* é a que o vidro é “um material inorgânico formado pelo processo de fusão, que foi resfriado a uma condição rígida, sem cristalizar”.

O vidro é obtido pela fusão de compostos inorgânicos a altas temperaturas, e resfriamento rápido da massa resultante até um estado rígido, não-cristalino.

O principal componente é a sílica (SiO_2). Esta, fundida isoladamente, produziria o vidro ideal para a maior parte das aplicações. No entanto, devido à necessidade de altas temperaturas para a sua fusão e às dificuldades encontradas para sua conformação, seu uso limita-se a algumas aplicações especiais.

Para reduzir a temperatura de fusão da sílica são utilizados fundentes, sendo o mais comum o óxido de sódio (Na_2O). Como o sistema SiO_2 - Na_2O é solúvel em água, adiciona-se um terceiro componente, óxido de cálcio (CaO), que confere ao vidro a estabilidade química necessária. O vidro, assim obtido, é denominado vidro soda-cal, também chamado de “vidro comum”, que representa 90% de todo o vidro produzido no mundo. Cerca de 90% do vidro soda-cal é constituído de SiO_2 , Na_2O e CaO , apresentando ainda outros óxidos em sua composição. Alguns desses óxidos são provenientes da própria matéria-prima utilizada, como o óxido de ferro (Fe_2O_3), enquanto que outros são adicionados propositalmente, com intuito de conferir ao produto características específicas. O óxido de alumínio (Al_2O_3), por exemplo, é adicionado para conferir ao vidro resistência ao ataque químico, para inibir a cristalização durante o resfriamento e para controlar a viscosidade, esta última, uma propriedade muito importante em todas as etapas de fusão, conformação e recozimento do vidro.

O óxido de ferro é uma impureza presente na maioria das matérias-primas naturais. Para os vidros incolores de alta qualidade é necessário minimizar a quantidade deste óxido na formulação, devido à sua grande influência sobre a coloração do produto. Para a produção de vidros transparen-

tes de alta qualidade utilizam-se areias com teores de Fe_2O_3 inferiores a 0,01%.¹

2 ESTRUTURA DO VIDRO

Do ponto de vista físico, o vidro é um líquido sub-resfriado, rígido, sem ponto de fusão definido e com uma viscosidade elevada que impede a sua cristalização.

Do ponto de vista químico, o vidro é o resultado da união de óxidos inorgânicos não-voláteis resultantes da decomposição e da fusão de compostos alcalinos (Na_2O) e alcalinos terrosos (CaO), de areia (SiO_2) e de outras substâncias, com o que se forma um produto final sem uma estrutura atômica definida (ou seja, não-cristalina).

No caso do vidro, a solidificação, que não é acompanhada por uma cristalização, não se dá numa temperatura fixa, mas sim numa faixa de temperaturas.

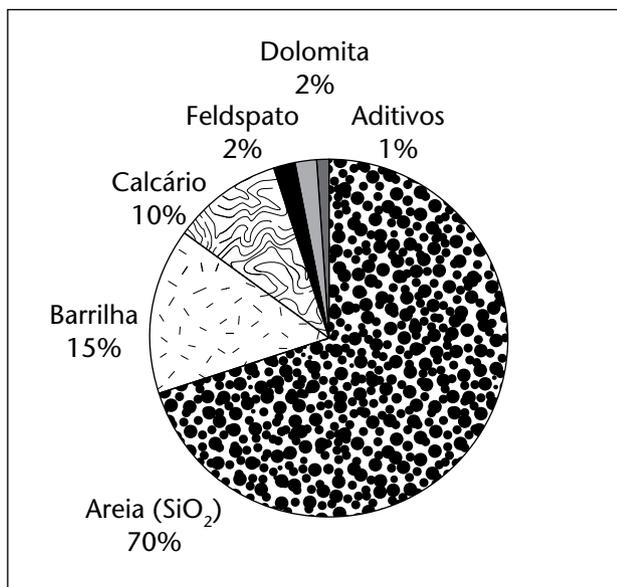
3 PROPRIEDADES DO VIDRO NO ESTADO SÓLIDO

- Transparência, translucidez ou opacidade à luz, dependendo da existência ou não de pequenas partículas misturadas à massa vítrea.
- Capacidade de variar sua viscosidade, segundo a temperatura em que é submetido, indo desde um líquido com uma viscosidade relativamente baixa a altas temperaturas, até o estado de pasta viscosa em temperaturas próximas à da transição vítrea.

4 MATÉRIAS-PRIMAS DO VIDRO

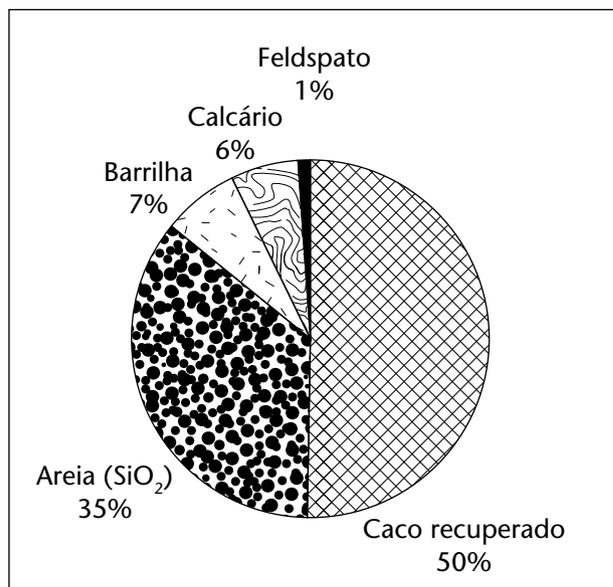
O processo de produção do vidro do tipo soda-cal utiliza como matérias-primas, basicamente, areia, barrilha, calcário e feldspato. Um procedimento comum do processo é adicionar-se à mistura das matérias-primas cacos de vidro gerados internamente na fábrica ou adquiridos, reduzindo sensivelmente os custos de produção.

A Figura 1 apresenta uma composição da formulação de vidro soda-cal sem adição de cacos, e a Figura 2, a composição considerando a adição de 50% de cacos.



Fonte: MME, 2015⁹.

Figura 1 – Composição do vidro sem caco



Fonte: ABIVIDRO, 1999²

Figura 2 – Composição com caco de vidro

FORMULAÇÕES DOS VIDROS PARA EMBALAGENS

Vidro	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	SO ₃	Total
Embal.- branco	72,6	1,6	>0,1	11,0	0,1	13,7	0,5	0,2	99,1
Embal.- âmbar	72,7	1,6	0,2	10,0	0,0	13,8	1,0	0,0	99,7
Embal.- verde	72,0	1,1	1,0	8,4	2,1	15,1	0,0	0,0	99,7

Fonte: TECNOLOGIA... (1999)¹

5 COMPOSIÇÃO DO VIDRO

Embora todos os vidros possam ser produzidos a partir de uma mesma base, eles possuem composições diferentes, de acordo com a finalidade a que se destinam. Os principais tipos de vidro e suas aplicações são os seguintes:

- vidro soda-cal, também denominado vidro comum, é essencialmente composto por sílica, à qual são incorporados óxido de sódio e óxido de cálcio. É produzido tanto na forma de placas, usadas em vidraças, espelhos, pára-brisas e vidros para automóveis, quanto

na forma de recipientes usados como embalagens gerais e garrafas de bebidas;

- vidro borossilicato (contém óxido de boro), comercialmente conhecido como Pyrex®, possui composição similar aos vidros soda-cal, porém com a substituição da maior parte dos óxidos alcalinos por óxido de boro. É utilizado em utensílios domésticos resistentes ao choque térmico (painéis e travessas) e equipamentos para laboratório;
- vidro de chumbo, também chamado erroneamente de vidro "cristal", possui mais de 24%

de óxido de chumbo em sua composição, o que lhe confere baixa temperatura de fusão e alto índice de refração. Também é utilizado para bloquear efetivamente radiações de alta energia. É utilizado principalmente como vidro óptico, como objetos de decoração, janelas de proteção contra radiação, etc.;

- fibras de vidro: utilizadas para isolamento térmico e acústico, e também para reforço de produtos cerâmicos e poliméricos;
- fibras ópticas: fibras de sílica (SiO_2) geralmente dopada com germânio, utilizada como meio de transmissão avançado em telecomunicações, na área telefônica, de sinalização e transmissão de dados;
- “fritas” para “vidrados” e esmaltes: (acabamentos impermeáveis de produtos cerâmicos), utilizadas na forma de pó e produzidas da mesma forma que os demais tipos de vidro até a etapa de fusão, quando então o material é resfriado rapidamente, pulverizando-se;
- vidros para aplicações nucleares: vidros com formulação especial, específica para cada uso.

6 PRINCIPAIS PRODUTOS DE VIDRO CONSUMIDOS E FABRICADOS NO BRASIL

- Vidros para embalagens: garrafas, potes, frascos e outros vasilhames fabricados nas cores branca, âmbar e verde (vidro soda-cal).
- Vidro plano: vidros planos lisos, vidros cristais, vidros impressos, temperados, laminados, aramados e coloridos fabricados em vidro comum.
- Vidros domésticos: tigelas, travessas, copos, pratos, panelas e outros produtos domésticos (vidro soda-cal, borossilicato, de chumbo).
- Fibras de vidro: mantas, tecidos, fios e outros produtos.
- Vidros técnicos: lâmpadas incandescentes ou fluorescentes, tubos de TV, vidros para laboratório (borossilicatos), vidros para ampolas, vidros para garrafas térmicas, vidros oftálmicos e isoladores elétricos, fabricados em vidro comum, vidro de chumbo e vidro de formulações específicas.

7 PROCESSOS DE PRODUÇÃO DE VIDRO

Atualmente, a indústria de vidro utiliza processos de produção de acordo com o tipo de produto final que fornece. Uma primeira classificação divide esses processos em Primários (automáticos e manuais) e Secundários.

Os processos primários caracterizam-se pela produção de vidro a partir da fusão das matérias-primas a altas temperaturas, enquanto que os processos secundários são aqueles que transformam o vidro em outros produtos, ou seja, qualquer processo em que a matéria prima para a fabricação seja o próprio vidro, tais como espelhos, vidros temperados, vidros laminados, entre outros.

O Quadro 1 e a Figura 3 apresentam dados estatísticos sobre o setor de vidro e a fabricação de embalagens de vidro no Brasil, respectivamente.

As matérias-primas que compõem o vidro comum (areia, barrilha, calcário e feldspato) recebem um tratamento para eliminação de impurezas e, em seguida, são peneiradas e, em alguns casos, moídas para obtenção de uma granulometria mais uniforme. São então misturadas e levadas ao forno em altas temperaturas para serem fundidas, aí permanecendo por um certo tempo para fusão total das matérias-primas e eliminação de bolhas. O vidro fundido passa então para um tanque de armazenagem, onde é mantido a uma temperatura constante até ser utilizado, podendo ser prensado, soprado e moldado. Na própria fábrica, qualquer material descartado devido à quebra ou defeitos é novamente moído e reintroduzido à mistura a ser fundida.

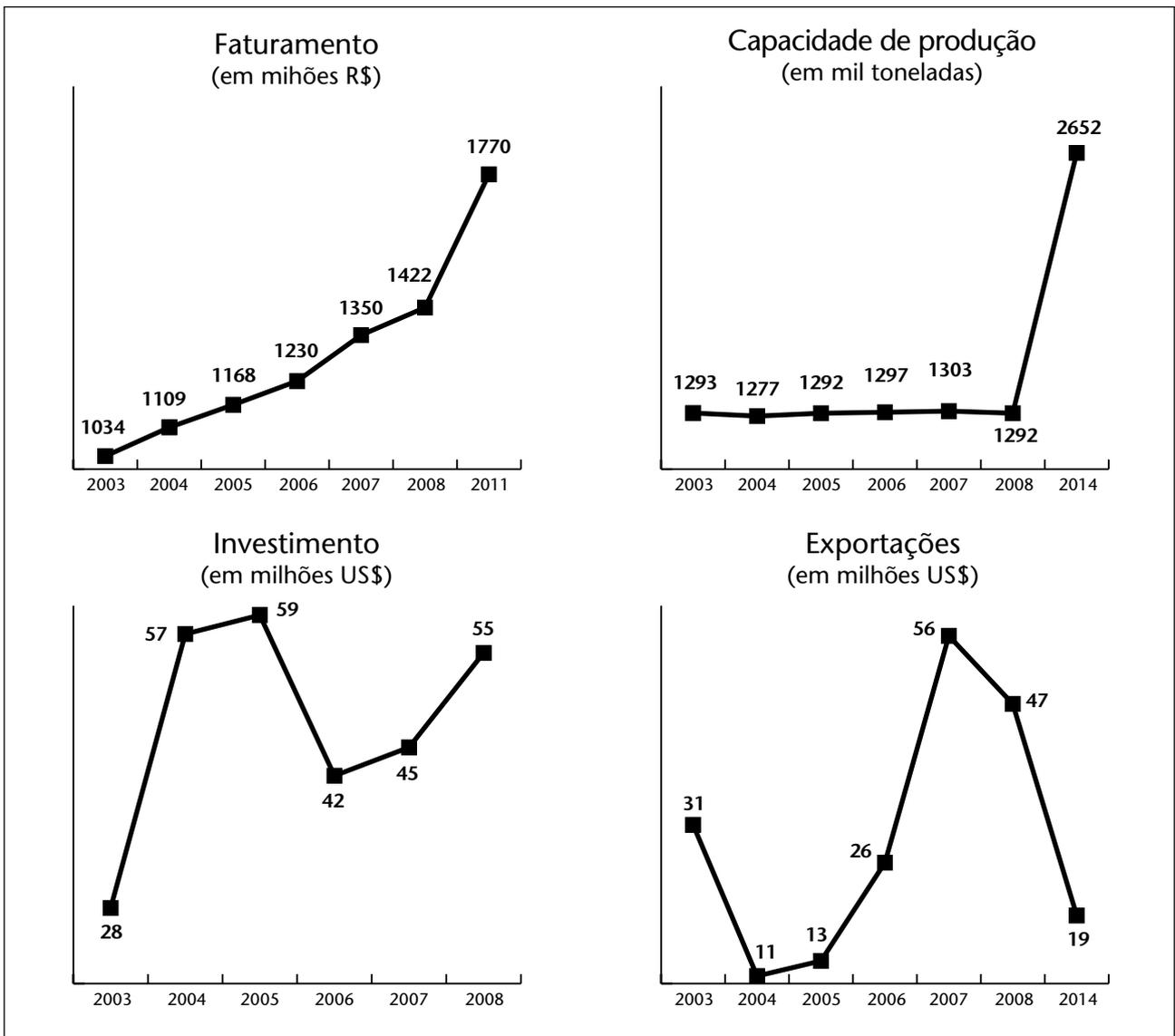
Quadro 1 – O setor de vidro no Brasil

Perfil do segmento de vidros especiais				
Ano	Faturamento (milhões R\$)	Capacidade de produção (mil toneladas)	Investimento (milhões US\$)	Exportações (milhões US\$)
2003	896	265	9	95
2004	1119	297	29	108
2005	1078	332	46	72
2006	1081	325	27	73
2007	759	182	19	91
2008	789	182	17	83

Perfil do segmento de vidros domésticos				
Ano	Faturamento (milhões R\$)	Capacidade de produção (mil toneladas)	Investimento (milhões US\$)	Exportações (milhões US\$)
2003	430	296	4	44
2004	480	283	9	53
2005	474	220	11	58
2006	512	228	15	55
2007	558	229	16	70
2008	582	240	40	71

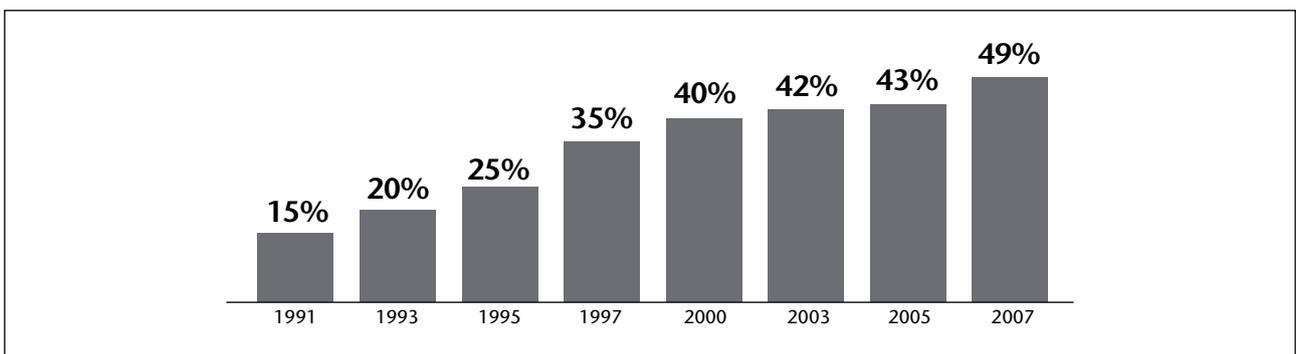
Perfil do segmento de vidros planos				
Ano	Faturamento (milhões R\$)	Capacidade de produção (mil toneladas)	Investimento (milhões US\$)	Exportações (milhões US\$)
2003	968	1050	66	92
2004	998	1240	63	115
2005	1033	1240	21	138
2006	1095	1240	25	139
2007	1183	1240	37	141
2008	1278	1280	230	130

Fonte: ABIVIDRO, 2008³



Fonte: ABIVIDRO, 2008³

Figura 3 – Embalagens de vidro no Brasil



Fonte: ABIVIDRO, 2008³

Figura 4 – Reciclagem de vidro no Brasil

8 REUTILIZAÇÃO DE VIDRO

O vidro é um material não-poroso que resiste a temperaturas de até 150°C (vidro comum) sem perda de suas propriedades físicas e químicas. Esse fato faz com que os produtos possam ser reutilizados várias vezes para a mesma finalidade.

A possibilidade de poder lavar e esterilizar embalagens de vidro, com alto grau de segurança, tornou a utilização de embalagens retornáveis de vidro bastante difundida.

As embalagens retornáveis de vidro são usadas basicamente para armazenar líquidos, como cervejas, refrigerantes e água, e têm suas características físicas e mecânicas normalizadas.

A reutilização indiscriminada de garrafas, potes e outros vasilhames de vidro que não tenham sido adequadamente tratados com lavagem e esterilização constitui um risco potencial à saúde da população.

Cabe lembrar que a etapa mais importante da limpeza de embalagens de vidro é a esterilização. Feita normalmente a altas temperaturas (entre 100 e 150°C). O processo deve exigir o mínimo de contato manual e quando este for necessário deve ser usado uniforme de proteção adequado.

É importante enfatizar que somente as embalagens de vidro retornáveis, projetadas especificamente para serem reutilizadas, devem ter essa finalidade. Todas as outras embalagens de vidro devem ser obrigatoriamente quebradas e moídas para serem vendidas às indústrias de vidro ou para os outros fins alternativos.^{4, 5, 6}

As garrafas retornáveis de vidro, devido à necessidade de resistir a repetidos transportes e ações de abrir e fechar, são mais pesadas do que as outras embalagens. A reutilização de produtos de vidro vem sendo uma realidade há algumas décadas. O retorno de um produto de vidro, como, por exemplo, a garrafa de vidro, apresenta vantagens óbvias, podendo ser utilizado diversas vezes, sendo necessária apenas uma limpeza rigorosa e uma tampa nova para permitir recolocar a garrafa no mercado. Porém, um número muito grande de falhas podem ocorrer, como quebras e falhas no fluxo de embalagens para um novo preenchimento nas unidades de enchimento. Por este motivo, existe uma tendência definida de substituição

destas garrafas retornáveis por garrafas de vidro mais leves, destinadas a uma única utilização, tendo sido criadas para isto as embalagens “sem retorno”.

A reciclagem de vidro significa enviar ao produtor de embalagens o vidro usado para que este seja reutilizado como matéria-prima para a produção de novas embalagens. Devido à sua utilização única, o peso das garrafas “sem retorno” pode ser muito menor, devido à menor exigência em termos de resistência, pois o produto será utilizado apenas em um ciclo.

As embalagens retornáveis apresentam certas vantagens sobre as não-retornáveis, desde que o processo de esterilização dessas seja feito de forma segura e por pessoal capacitado.

9 RECICLAGEM DE VIDRO

O vidro é 100% reciclável, não ocorrendo perda de material durante o processo de fusão. Para cada tonelada de caco de vidro limpo, obtém-se uma tonelada de vidro novo. Além disso, cerca de 1,2 tonelada de matéria-prima deixa de ser consumida.

A inclusão do caco de vidro no processo convencional de produção do vidro reduz sensivelmente os custos da produção. Em termos de óleo combustível e eletricidade, para cada 10% de vidro reciclado introduzido na mistura, são economizados 2,5% da energia necessária para a fusão nos fornos industriais, devido à diminuição da temperatura de fusão pela introdução dos cacos.

Deste modo, há diminuição do uso de matérias-primas e da emissão de gases, como o gás carbônico, para a atmosfera.^{4, 5}

9.1 Caco de Vidro

Em cada fábrica de vidro, é gerada internamente uma quantidade de caco que é reutilizada pela própria fábrica, sem qualquer processamento adicional, uma vez que são conhecidas a sua qualidade e a sua composição.

O caco de vidro gerado externamente à fábrica tem diversas procedências. A principal fonte externa é representada pelos consumidores e pelos processadores de todos os tipos de produtos de vidro.⁷

9.1.1 Etapas de preparação dos cacos de vidro

Após o recolhimento do vidro por meio de caminhões, ele é colocado em um alimentador, onde é transportado por uma esteira até atingir um grande ímã ao qual metais ferrosos são removidos. Na sequência, o vidro passa por uma sessão de coleta, onde materiais cerâmicos ou outros tipos de materiais são removidos manualmente. O vidro é então triturado até atingir um tamanho uniforme; após este estágio, este passa por uma esteira transportadora onde um sistema de detecção secundário de metal remove qualquer metal não-ferroso. O material processado é então guardado em tonéis para ser enviado às indústrias já na condição de uso.

No caso do lixo domiciliar, a situação é muito complexa, pois nem sempre é possível conhecer a procedência e identificar a composição química de cada vidro encontrado. Neste caso, o procedimento mais adequado é a separação e a classificação do vidro por produto, determinando a seguir o seu destino correto para reciclagem.

Considerando o custo de coleta inicial desprezível, o beneficiamento e o transporte dos cacos às fábricas devem ser considerados como custos operacionais reais e devem permitir que o seu preço final para entrega à fábrica de vidro seja competitivo.⁷

Alguns processos de produção do vidro podem utilizar apenas o caco de vidro gerado internamente na própria indústria produtora. No entanto, em outras indústrias de vidro é possível aproveitar uma certa quantidade de caco gerado externamente (por exemplo, embalagens de vidro).

Uma das principais vantagens apresentadas pelo vidro é que este pode ser reciclado infinitas vezes para a produção de recipientes utilizáveis para os mais nobres produtos.

9.1.2 Outras aplicações para o caco de vidro

- material de enchimento;
- material abrasivo;
- matéria-prima para fritas cerâmicas;
- fabricação de tijolos de vidro;

- fabricação de microesferas de vidro;
- fabricação de lã de vidro;
- matéria-prima na fabricação de asfalto;
- fabricação de fibra de vidro;
- fabricação de bolinhas de vidro;
- fabricação de espuma de vidro;
- aplicações artísticas.

9.2 Tipos de Vidro Encontrados no Lixo Domiciliar

O principal tipo de vidro encontrado no lixo urbano é o de embalagens, como garrafas para bebidas alcoólicas, águas, refrigerantes, sucos, potes e frascos para armazenamento de produtos alimentícios.

Encontra-se o vidro também no lixo domiciliar como parte ou componente de inúmeros outros produtos domésticos, como, por exemplo, pratos, tigelas, travessas, panelas, tampas de fogões, tubos de televisão, lâmpadas, entre outros. A composição química destes vidros, normalmente, é bem diferente do vidro comum usado para a produção de embalagens e de vidro plano e, conseqüentemente, é muito difícil, ou quase impossível, separar e reaproveitar o vidro destes produtos. A princípio, todo este vidro poderia ser reaproveitado, porém, na prática, sua reutilização não é economicamente viável.

Assim, a principal parcela do vidro contido no lixo domiciliar que pode ser reaproveitada é representada por embalagens, como garrafas, frascos, potes e outros vasilhames para produtos alimentícios, cosméticos, etc.

• Embalagens retornáveis e recicláveis

- garrafas em vidro âmbar de 600 mL e 300 mL para cervejas;
- garrafas em vidro branco e garrafões de vinho em vidro verde de 1000 mL e 300 mL para refrigerantes;
- garrafas em vidro verde de 1000 mL e 300 mL para refrigerantes.

• Embalagens recicláveis

- garrafas descartáveis *one way*, em vidro branco, âmbar ou verde para cervejas e refrigerantes;
- garrafas para sucos e águas minerais;
- frascos e potes para produtos alimentícios;
- garrafas em vidro verde e branco para bebidas alcoólicas, como vinhos, whisky, conhaque, vodka, etc.;
- frascos para cosméticos e medicamentos.

• Produtos de vidro não-recicláveis

Alguns tipos de vidro não podem ser reciclados, como:

- espelhos;
- vidros planos, como vidro de janelas e *box* de banheiro;
- vidros de automóveis;
- vidro “cristal”;
- vidros especiais, como lâmpadas, tubos de televisão e válvulas;
- ampolas de medicamentos;
- fôrmas e travessas de vidro temperado, assim como qualquer utensílio doméstico de vidro temperado.

10 POSIÇÃO DA PREFEITURA E A RECICLAGEM DE VIDRO

Para os municípios localizados próximos às fábricas de vidro, a melhor forma encontrada para a reciclagem é quebrar os produtos de vidro (garrafas, potes, frascos, etc.) e vendê-los, em forma de cacos, diretamente a essas fábricas.

Para ser obtido um melhor preço de venda do vidro reciclado, deve-se realizar a entrega desse vidro quebrado em forma de cacos, lavado (remoção de sujeira e material inorgânico) e, de preferência, separado por cor às indústrias.

A Prefeitura que não dispõe de recursos para (ou que não queira) investir em uma usina de beneficia-

mento de vidro, tem a possibilidade de comercializá-lo tal e qual coletado para as empresas especializadas neste tipo de tratamento.

Já os municípios distantes das fábricas de vidro podem vender os cacos para outras finalidades, conforme indicado no item 9.1, já que os custos referentes a transporte inviabilizam a comercialização para as empresas tradicionais de embalagens.

Uma pesquisa das indústrias locais pode facilmente determinar se existe ou não um mercado para vidro quebrado ou moído. Em certos casos, o valor de venda pode ser atrativo caso a indústria local não disponha de problemas de logística para fornecimento de matéria-prima. É comum que outras indústrias (não vidrarias) desconheçam a reutilização do vidro existente em lixos domiciliares como matéria-prima.

Os principais custos que envolvem a reciclagem de produtos de vidro referem-se à coleta, separação (de cores, como âmbar, verde e incolor e de outros materiais, como metais, por exemplo) e transporte.

A unidade de beneficiamento pode basear-se em processo manual de seleção dos materiais. No caso de grandes centros ou metrópoles, entretanto, é desejável e aconselhável a implantação de uma unidade mecanizada para a produção.

O transporte é um fator importante no que diz respeito a custos, como já mencionado anteriormente. Para locais muito afastados da fábrica de vidro, o custo pode influenciar significativamente no preço final do caco, tornando-o muito elevado.

Tendo em vista estudos realizados em 1991, a reciclagem de vidro no Brasil só era viável nas regiões sul e sudeste do Brasil, pois distâncias superiores a 400 quilômetros encareciam o caco devido ao custo de transporte.^{4, 5, 6}

A reciclagem no Brasil hoje atinge não somente os estados do sul e sudeste (como em 1991). Segundo a Associação Técnica Brasileira das Indústrias Automáticas de Vidro – ABIVIDRO, existem no Brasil dezenas de projetos ativos de reciclagem em vários estados, entre eles Bahia, Pernambuco, Rio Grande do Norte, Distrito Federal e Ceará, além dos estados do sul e sudeste.

11 RECICLAGEM: UMA ECONOMIA DE RECURSOS

Além da redução do consumo de matérias-primas retiradas da natureza, a adição do caco à mistura reduz o tempo de fusão na fabricação do vidro, tendo como consequência uma redução significativa no consumo energético de produção.

Segundo a ABIVIDRO, a reciclagem de vidro proporciona:

- redução de custos de limpeza urbana;
- diminuição do volume do lixo em aterros sanitários;
- geração de novos recursos para obras sociais e educacionais;
- implementação de empregos;
- preservação do meio ambiente.

BIBLIOGRAFIA

1. TECNOLOGIA de vidro. 1999. Palestra ministrada pelo Prof. Dr. Colin Graham Rouse, Assessor Técnico da ABIVIDRO, na Universidade Presbiteriana Mackenzie.
2. ABIVIDRO. 1999. Anuário e folheto informativo.
3. ABIVIDRO. 2008. Anuário estatístico. <www.abividro.org.br>.
4. ATBIAV (atual ABIVIDRO) promoveu encontro de reciclagem. 1991. Revista Projeto Reciclagem, n. 5, jul. p. 16-17.
5. ROUSE, C. G. 1991. Reciclagem de vidro: uma questão de custo e benefício. 1991. Revista Projeto Reciclagem, n. 6, ago./set. p. 28-29.
6. USINAS de separação de caco no Brasil. 1991. Revista Projeto Reciclagem, n. 3, mar. p. 31-32.
7. ANDELA TOOL & MACHINE INC. [s.d.]. Home page: <<http://www.recycle.net/andela>>.
8. ABRE – Associação Brasileira de Embalagem. www.abre.org.br 2015.
9. Ministério de Minas e Energia – MME: “Anuário Estatístico do Setor de Transformação de Não Metálicos”, 2015.

CAPÍTULO IV

PROCESSAMENTO DO LIXO

PARTE 6 – RECICLAGEM DE METAL

1 INTRODUÇÃO

Os metais são materiais de elevada durabilidade, resistência mecânica e facilidade de conformação, sendo muito utilizados em equipamentos, estruturas e embalagens em geral.

Quanto à sua composição, os metais são classificados em dois grandes grupos: os ferrosos (compostos basicamente de ferro e aço) e os não-ferrosos. Essa divisão justifica-se pela grande predominância do uso dos metais à base de ferro, principalmente o aço.

Entre os metais não-ferrosos, destacam-se o alumínio, o cobre e suas ligas (como o latão e o bronze), o chumbo, o níquel e o zinco. Os dois últimos, junto com o cromo e o estanho, são mais empregados combinados, na forma de ligas com outros metais, ou como revestimento depositado sobre metais, como, por exemplo, o aço.

2 PROCESSOS DE FABRICAÇÃO DE METAIS

São dois os processos de fabricação de metais: primário e secundário (Figura 1).

No processo primário, o metal é obtido através da redução do minério ao estado metálico, usando redutores como o carvão. Esse processo é feito a altas temperaturas, com elevado consumo de energia. O metal obtido é denominado *primário*.

No processo secundário, o metal é obtido basicamente da fusão do metal já usado, denominado sucata. O consumo de energia é menor e o metal obtido é denominado *secundário*.

A sucata metálica, além de ter embutida em si a etapa mais cara do processo primário, que é a extração e a redução do minério ao estado metálico, tem ainda um valor econômico, próprio do metal,

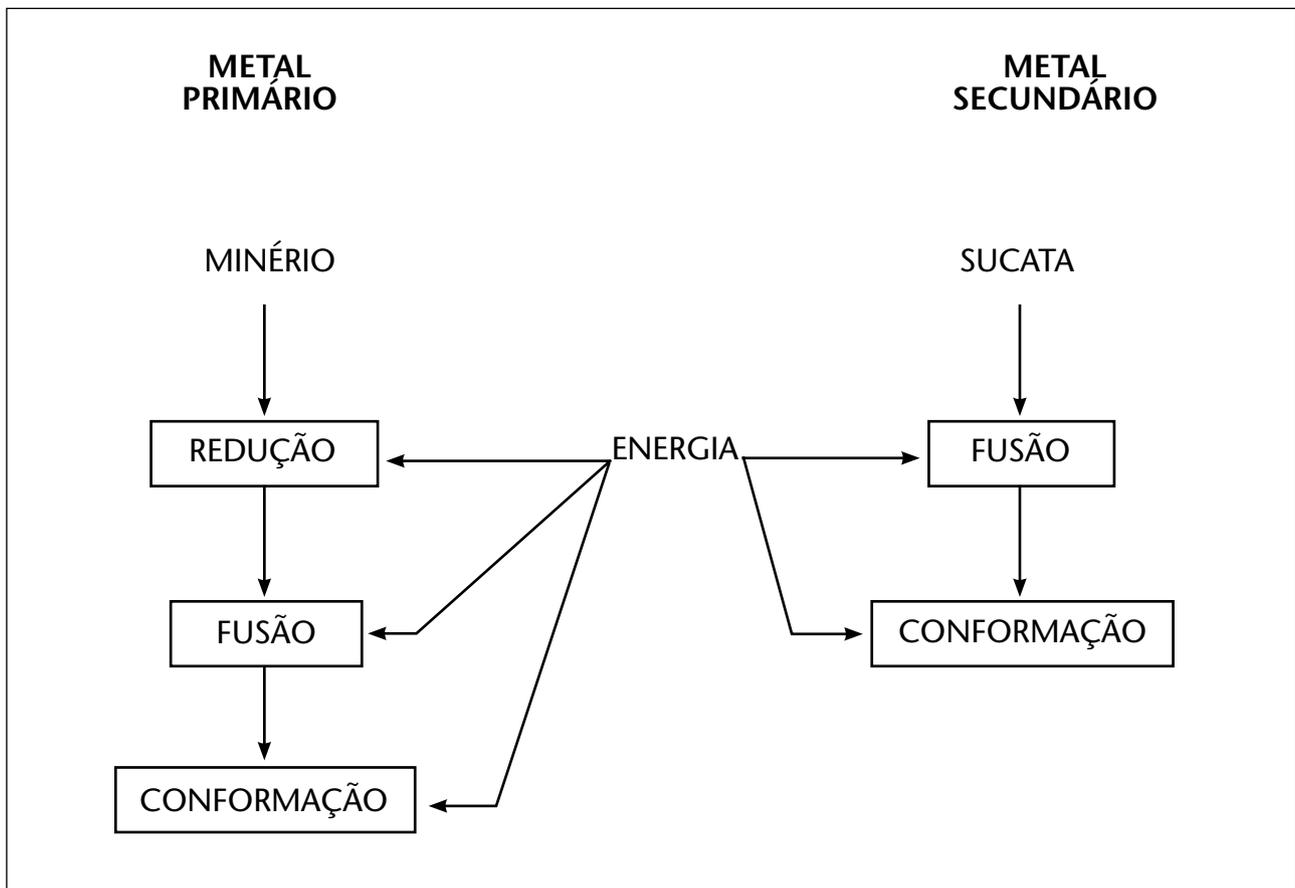


Figura 1 – Etapas na fabricação do metal primário e do metal secundário.

sendo este significativo em metais como alumínio, chumbo, cobre e, particularmente, nos metais nobres: ouro, platina e prata.

SUCATA DE METAIS

Os metais, na forma de sucata, têm grande importância na indústria metalúrgica brasileira. A quantidade de metal recuperado corresponde a cerca de 50% da produção de chumbo, 25% de cobre, 14% de alumínio e 20% de aço.

3 METAIS NO LIXO DOMICILIAR

A maior parte dos metais presentes no lixo domiciliar é aquela proveniente de embalagens, principalmente as alimentícias – as tradicionais latas e algumas tampas de recipientes de vidro.

Em menor quantidade, encontram-se no lixo urbano metais provenientes de utensílios e equipamentos descartados (painéis, esquadrias, peças de geladeira, fogão, etc.).

TIPOS DE LATA

- Folha-de-flandres (aço revestido com estanho). Ex.: latas de conserva alimentícias.
- Aço não-revestido. Ex.: latas de tinta.
- Alumínio. Ex.: latas de bebidas.

O revestimento de latas de aço com materiais como estanho e cromo confere maior resistência a corrosão.

4 RECICLAGEM DE METAIS

A grande vantagem da reciclagem de metais é evitar as despesas da fase de redução do minério a metal. Essa fase envolve um alto consumo de energia, e requer transporte de grandes volumes de minério e instalações caras, destinadas à produção em grande escala.

Embora seja maior o interesse na reciclagem de metais não-ferrosos, devido ao maior valor de sua sucata, é muito grande a procura pela sucata de ferro e de aço, inclusive pelas usinas siderúrgicas e fundições.

A sucata é matéria-prima das empresas produtoras de aço que não contam com o processo de redução, e que são responsáveis por cerca de 20% da produção nacional de aço. A sucata representa cerca de 40% do total de aço consumido no país, valor próximo aos valores de outros países, como os Estados Unidos, onde atinge 50% do total da produção. Ressalta-se que o Brasil exporta cerca de 40% da sua produção de aço.

É importante, ainda, observar que a sucata pode, sem maiores problemas, ser reciclada mesmo quando enferrujada. Sua reciclagem é também facilitada pela sua simples identificação e separação, principalmente no caso da sucata ferrosa, em que se empregam eletroímãs, devido às suas propriedades magnéticas (Figura 2). Através deste processo é possível retirar até 90% do metal ferroso existente no lixo.²

A reciclagem de metais, principalmente a de ferrosos, apresenta também um papel socioeconômico, uma vez que dela dependem inúmeras fundições de pequeno porte, instaladas nas áreas industriais das cidades.

No caso do lixo, um obstáculo para a reciclagem de metais reside no fato de estes estarem misturados a outros materiais.

Mesmo quando a sucata está separada dos demais tipos de lixo, muitas vezes ocorre a necessidade de operações complementares, como a eliminação do óleo de usinagem, no caso de cavacos de fabricação de peças.

Uma outra desvantagem é que alguns metais de revestimento, utilizados para a proteção do metal, precisam ser removidos ou diluídos antes do reprocessamento. Por exemplo, o estanho da folha-de-flandres pode causar a fratura a quente do aço no seu reprocessamento, quando presente em determinadas quantidades, dependendo do processo utilizado.

Após sua coleta, devido à grande diversidade dos tipos de sucata de metal presentes no lixo domiciliar, o trabalho de triagem deve ser o mais eficiente possível para que ocorra um bom aproveitamento desta sucata.

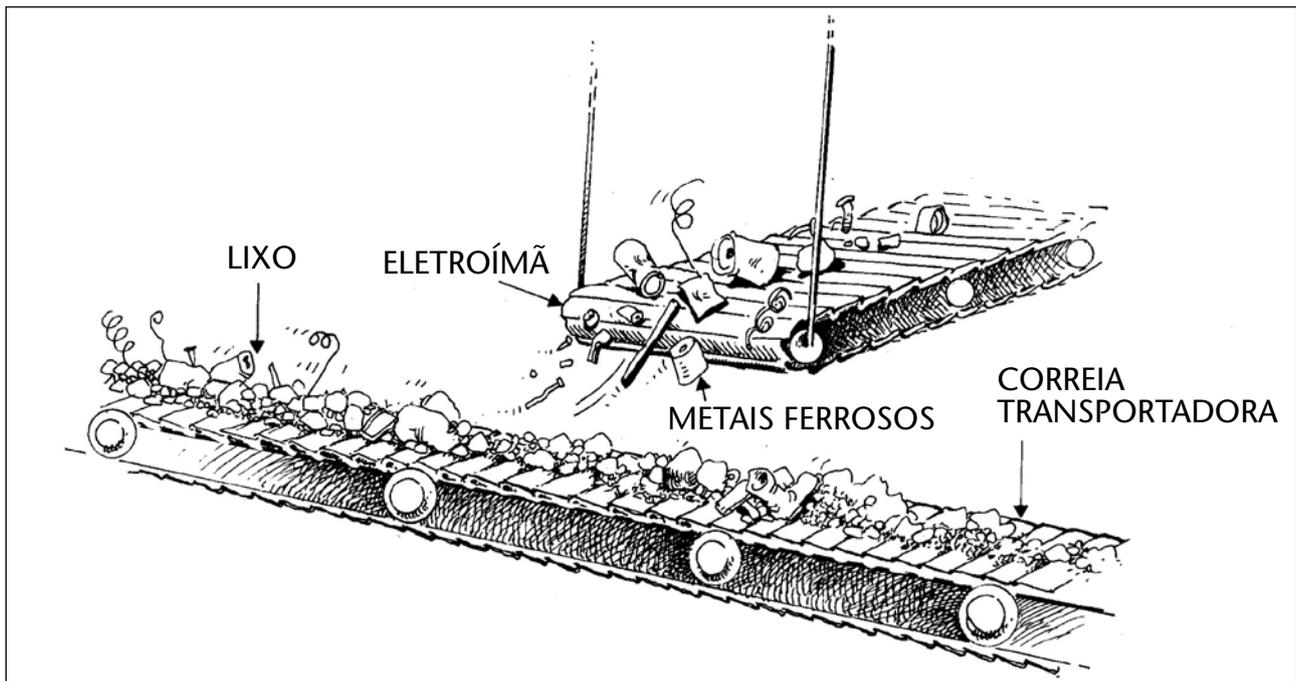


Figura 2 – Eletroímã para separação do metal no lixo

COLETA DE METAIS

Redes complexas de coletas são estabelecidas para a comercialização de sucata de metais. Não obstante, o destino final da sucata (fundições ou grandes siderúrgicas), em boa parte, começa pelo catador de rua. Esse trabalho constitui a base da rede capilar de coleta, estendendo-se aos “ferros velhos” e atingindo as indústrias transformadoras. Esse tipo de coleta capilar e a relativa facilidade de processamento, própria da sucata, permite o seu reprocessamento em regiões próximas às cidades ou mesmo em sua área industrial, o que não seria possível com as grandes siderúrgicas que fabricam o material primário.

Já no lixo, embalagens metálicas e outros artefatos de metal estão misturados com metais diversos. Se esse lixo for submetido a uma separação magnética, como em geral ocorre nas usinas de triagem ou na coleta seletiva, a maioria dos metais (ou ligas) ferrosos serão facilmente separados do restante do lixo. Depois de separado, o metal ferroso é compactado em prensas e, na forma de fardos, pode ser comercializado.

5 RECICLAGEM DE LATAS

As latas de folha-de-flandres (aço revestido com estanho) dominam o setor de embalagem no Brasil, principalmente para alimentos. São consumidas anualmente no País cerca de 950 mil toneladas de folhas de aço estanhado, cromado ou sem revestimento, para a fabricação de 30 bilhões de latas e componentes. As latas de alumínio, entretanto, asseguraram para si o mercado de bebidas carboidratadas. Em 2015, foram produzidas 25 bilhões de latas de alumínio, representando cerca de 19% do consumo total deste metal. Mais recentemente, nos países desenvolvidos, parte das latas de alumínio estão sendo substituídas por latas de aço revestido por questões de custo e reciclabilidade (há limitações no processo de reciclagem do alumínio e, como já mencionado, é possível a separação de materiais ferrosos com eletroímã).^{3,5}

A reciclagem desses tipos de lata é extremamente importante para ambas indústrias de embalagens; no caso do alumínio, a energia necessária para o processamento do metal reciclado é apenas 5% da energia utilizada para o metal primário; para o aço, esta relação é de 3,7, sendo ainda considerável.

A Figura 3 apresenta uma ilustração do ciclo da lata de alumínio.

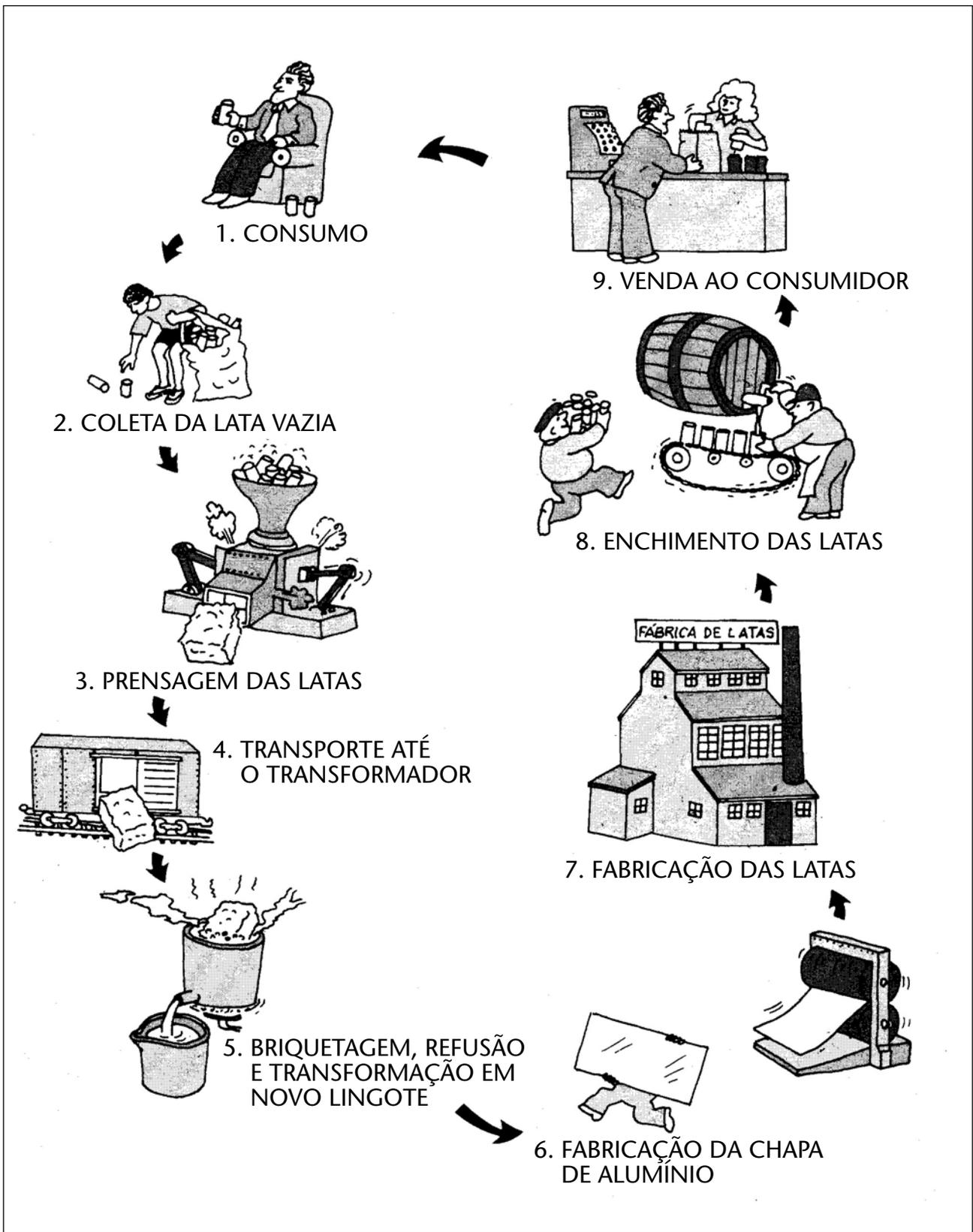


Figura 3 – O ciclo da lata de alumínio (autorizado Reynolds Latasa)

É importante notar que os gastos em energia são os predominantes na produção de metais. Estes fatos explicam o interesse pela reciclagem por parte dos fabricantes de metal, que são os grandes aliados e mesmo líderes das campanhas de reciclagem de metais. Essa, no caso das embalagens de aço, já chega a 47%, e 82% no caso das latas de bebidas (2 peças). Quanto às embalagens de alumínio, a reciclagem já é superior que 97%, valor que representa a liderança mundial (Tabela 1).

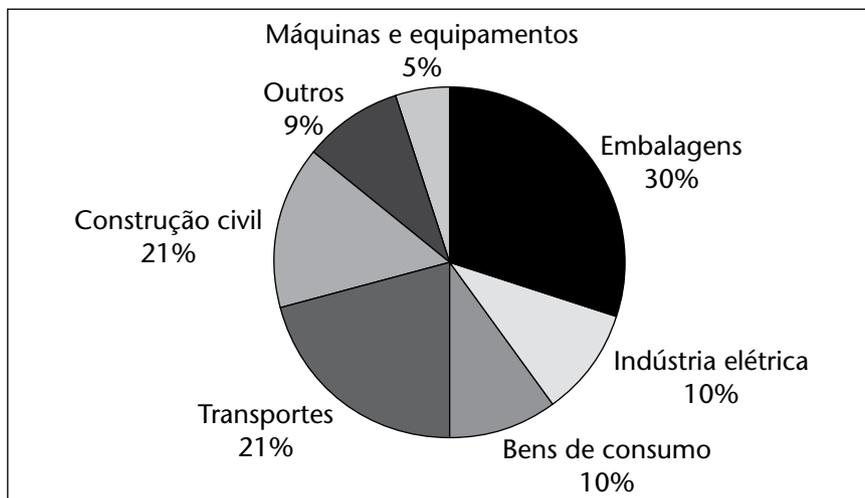
No Brasil, a lata de alumínio corresponde a cerca de 1% dos resíduos urbanos. A folha-de-flandres é o material de embalagem mais facilmente coletado junto ao lixo doméstico, uma vez que pode ser separado magneticamente em condições sanitárias adequadas. A importância da reciclagem da folha-de-flandres vem sendo reconhecida e processos para remoção do estanho têm sido objeto de pesquisas de desenvolvimento tecnológico.

Tabela 1 – Índice de reciclagem de latas de alumínio (%)

País	2000	2004	2008	2012	2014
Argentina	50	78	91	91,1	91,1
Brasil	77,7	95,7	91,5	97,9	98,4
Média Europa	43	48	62	66,7	69,5
EUA	62,1	51,2	54	67	66,5
Japão	80,6	86,1	87	92,5	87,4

Fonte: ABAL, 2014 e ABRALATAS, 2015

O sucesso da reciclagem da lata de alumínio se deve, principalmente, ao valor agregado da embalagem. A energia usada na reciclagem desse metal corresponde a 5% da energia utilizada na produção do alumínio a partir do minério (bauxita).



Fonte: ABAL, 2010⁶

Figura 4 – Consumo de alumínio no Brasil por segmento (%)

BIBLIOGRAFIA

1. GIOSA, J. R. 1994. Reciclagem de latas no Brasil. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DE RECICLAGEM NO BRASIL, 1, 1994. Anais... [s.l.]: ABAL. Não paginado.
2. IBS. 1994. Estatística de siderurgia. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Siderurgia.
3. ABEAÇO – Associação Brasileira de Embalagem de Aço, 2012.
4. A EMBALAGEM E O MEIO AMBIENTE. 1992. Campinas, 1990. Anais... Campinas: CETEA/ITAL. Partes 1 e 2.
5. ABRALATAS - Associação Brasileira dos Fabricantes de Latas de Alta Reciclabilidade, 2015.
6. ABAL – Associação Brasileira do Alumínio, 2010-2015.

CAPÍTULO IV

PROCESSAMENTO DO LIXO

PARTE 7 – RECICLAGEM DE ENTULHO

1 INTRODUÇÃO

Resíduos da construção civil: são os provenientes de construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil. Incluem também os resultantes da preparação e da escavação de terrenos, tais como: tijolos, blocos cerâmicos, concreto em geral, solos, rochas, metais, resinas, colas, tintas, madeiras e compensados, forros, argamassa, gesso, telhas, pavimento asfáltico, vidros, plásticos, tubulações e fiação elétrica, entre outros, comumente chamados de entulhos de obras, calça ou metralha.¹

Podemos identificar, no entulho formado durante uma construção, a existência de **quatro** tipos de resíduos, segundo classificação da Resolução Conama 307:

- Classe **A** - são os resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregados, tais como: de construção, demolição, reformas e reparos de pavimentação, edificações e de outras obras de infra-estrutura; componentes cerâmicos (tijolos, blocos, telhas, placas de revestimento etc.), argamassa e concreto; blocos, tubos, meios-fios, entre outros.
- 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 do processo de construção, tais como: tintas, solventes, óleos e outros, ou aqueles contaminados oriundos de demolições, reformas e reparos de clínicas radiológicas, instalações industriais e outros.

O entulho de construção compõe-se, portanto, de restos e fragmentos de materiais, enquanto o de demolição é formado apenas por fragmentos, tendo por isso maior potencial qualitativo, comparativamente ao entulho de construção.

2 PROBLEMAS COM O ENTULHO

Quando descartado das construções, como material praticamente inerte, o entulho causa ônus e problemas associados ao seu volume, que geralmente é bastante significativo, chegando a mais de 50% do resíduo total gerado.

As diversas destinações clandestinas do entulho causam problemas de saúde pública, pela proliferação de insetos e roedores. Mas outros transtornos podem ser citados, por exemplo:

- lançamento em encostas ou em terrenos problemáticos, gerando depósitos instáveis que podem causar deslizamentos;
- lançamento em terras baixas, junto a drenagens ou mesmo diretamente no leito de canais, levando a obstrução do escoamento e provocando inundação;

Normalmente, os municípios não coletam o entulho gerado, sendo comum os despejos clandestinos em vias públicas, terrenos baldios, margens de rios, etc. e ainda em bota-foras irregulares, que se transformam em muitas vezes em imensos lixões.

Quanto ao tipo de atuação das Prefeituras, no caso do município de São Paulo², por exemplo, os serviços prestados referem-se principalmente ao recolhimento de despejos clandestinos em vias e logradouros públicos, com destinação final a aterros sanitários e de materiais inertes, com um custo unitário de 29 a 54 reais por m³ ou 2,12 reais por habitante por ano (coleta, transporte e aterro). Os entulhos, na forma que os mesmos se apresentam (ou seja, sem que haja uma seleção, reciclagem e classificação), prestam-se tão somente à execução do aterro.

3 SITUAÇÃO BRASILEIRA E MUNDIAL

3.1 Geração

No município de São Paulo, conforme dados da AMLURB de janeiro a dezembro de 2015, foram coletadas 484.930 toneladas de entulho². Esse valor pode ser muito maior, pois só estão contabilizados os entulhos destinados aos aterros oficiais.

Para a cidade de Belo Horizonte, estima-se 90 mil toneladas de entulho por ano destinadas para a reciclagem.³

Tabela 1- Quantidade de RCC em alguns municípios e geração *per capita*

Municípios	Total de RCC (t/dia)	Taxa (t/ano por habitante)
São José dos Campos (SP)	733	0,47
Ribeirão Preto (SP)	1.043	0,71
Santo André (SP)	1.013	0,51
São José do Rio Preto (SP)	687	0,66
Jundiaí (SP)	712	0,76
Vitória da Conquista (BA)	310	0,40
Uberlândia (MG)	958	0,68
Guarulhos (SP)	1.308	0,38
Diadema (SP)	458	0,40
Piracicaba (SP)	620	0,59

Fonte: IPEA, 2012 (Dados 2005)⁶

Os dados disponíveis para avaliar o desperdício nas construções brasileiras, segundo estudos da Escola Politécnica da USP, apontam que o desperdício de materiais na construção civil corresponde a **8%** em massa, e 30% de perdas financeiras e retrabalhos.

3.1.1. Gerador de entulho no Brasil

Quem constrói e/ou executa reformas em estruturas de concreto utiliza o cimento, que é o material aglomerante em: a) concretos, utilizados normalmente como elementos estruturais (pilares, vigas, lajes); b) argamassas de revestimento, de assentamento de blocos de concreto; c) argamassas e pastas na ligação de elementos cerâmicos, como tijolos, azulejos, blocos, etc. Dessa forma, ainda que de forma indireta, conhecendo-se o usuário do cimento é possível estabelecer um perfil do gerador de entulho.

Uma pesquisa que analisou o fluxo e da segmentação do mercado de cimento no Brasil, tomando por base 3 tipos de consumidores (industriais, finais e particulares) chegou aos resultados apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 – Identificação do consumidor de cimento

Consumo de cimento no Brasil (%)					
Consumidores Industriais		Consumidores Finais		Consumidores Particulares	
Concreteiras	8,5	Empreiteiras	24,0	Individuais	37,7
Fibrocimento	3,9	Empr. Privadas	3,2	Pedreiros	12,6
Pré-moldados	2,7	Prefeituras	1,7		
Artefatos	3,8	Órgãos públicos	1,3		
Argamassas	0,6				
Total	19,5	Total	30,2	Total	50,3

Fonte: BOOZ, ALLEN, HAMILTON⁵

A partir destes dados, verifica-se que a participação dos consumidores particulares de cimento é bastante significativa (50,3%), o que identifica que uma grande parte de materiais de construção – cimento, areia, brita, cerâmica – está sendo destinada provavelmente a inúmeras obras particulares de pequeno porte (construção e reforma residenciais, com ou sem demolições) aleatoriamente espalhadas pelo município. É potencialmente a causa de numerosas fontes de entulho de pequeno volume e, portanto, das deposições ilegais.

3.2 Tratamento

“Dados de 1997⁴ indicaram a existência das primeiras oito instalações de reciclagem municipal no Brasil, implantadas entre 1991 e 1996, sendo duas delas em Belo Horizonte (MG). Atualmente, 392 municípios no Brasil possuem alguma forma de processamento dos RCC.”⁶

Em relação ao gerenciamento dos RCC, de acordo com a PNSB (IBGE, 2010), dos 5.564 municípios brasileiros, 4.031 municípios (72,44%) apresentam serviços de manejo dos RCC⁶. A prefeitura ainda é o principal agente operador das unidades de reciclagem e dos aterros de RCC, porém, segundo pesquisa do SNIS 2010, quanto mais complexo for o encaminhamento dos resíduos, maior a atuação de empresas.⁶

As figuras 1, 2 e 3 ilustram a antiga usina de reciclagem de São Paulo (aterro de Itatinga, atualmente desativada), mostrando o equipamento e os agregados reciclados.

Fotos: Luiz T. Hamassaki



Figura 1: Lançamento de entulho reciclável em equipamento de trituração (Aterro de Itatinga-SP, atualmente esgotado)
Nota: observar que, após a trituração, há um operário sobre a esteira de transporte do entulho reciclado, realizando ainda uma inspeção e retirada de resíduos não-recicláveis.



Figura 2 - Montes de agregados reciclados de entulho. Ao fundo, à direita, equipamento de trituração e correias transportadoras (Aterro de Itatinga-SP, atualmente esgotado)

Em Belo Horizonte, a primeira usina de reciclagem de entulho, das quatro previstas para a cidade, começou a funcionar em novembro de 1995, processando em 1996 cerca de 100 t/dia de entulho.

A usina custou à Prefeitura cerca 150 mil dólares, incluindo equipamentos e obras civis.

As figuras 4a e 4b mostram aspectos da reciclagem em Belo Horizonte.

Fotos: Tarcísio Pinto



Figura 3 - Aspecto do agregado reciclado, a ser destinado para obras de pavimentação



Figura 4a - Equipamento para reciclagem (trituração) de entulho (Estação de Reciclagem de Entulho - Prefeitura de Belo Horizonte-MG)



Figura 4b - Material triturado pronto para ser reutilizado (Estação de Reciclagem de Entulho do Estoril - Prefeitura de Belo Horizonte-MG)

O custo de reciclagem de entulho pode variar muito de acordo com o tamanho do empreendimento (para empresas) e localização (distância da matéria-prima). Para uma empresa de pequeno porte pode-se estimar um custo total de R\$ 46.763/mês¹⁹. Não só o custo, mas a eliminação das deposições irregulares e o alívio dos aterros também são parte importante nesta avaliação, como será visto no item 4.

Na Europa, os incentivos fiscais à reciclagem, mesmo indiretos, favorecem o surgimento de reciclagem feita pelas próprias mineradoras. Países

como Bélgica, Holanda e Alemanha possuem bons índices de reciclagem, acima de 85%. No Brasil não chega a 5% (FecomercioSP, 2014).

3.2.1 Reciclagem no canteiro

Identifica-se no mercado nacional, além da reciclagem realizada pelas Prefeituras Municipais, um tipo de reciclagem praticado no próprio local gerador do entulho, por alguns construtores, normalmente de edifícios, que investem em compras ou locação de equipamentos.

Há diferenças fundamentais entre o tipo de entulho da reciclagem no próprio local gerador e o entulho recolhido num município. O entulho municipal normalmente apresenta muita contaminação (solo, matéria orgânica, plásticos, etc.), exigindo cuidados intensos na seleção dos materiais recicláveis. Por outro lado, o entulho reciclado no mesmo local gerador permite que o construtor selecione os resíduos não contaminados que serão destinados à reciclagem, assim como compor o tipo que será reciclado (fragmentos de blocos cerâmicos, concreto, argamassa, etc.).

Em geral, o entulho reciclado nesta modalidade tem sido destinado à utilização de argamassas de alvenaria e concreto, para as quais já há alguns estudos laboratoriais realizados⁸. Estes estudos foram efetuados em traços de argamassa com agregados miúdos de areia natural e reciclada de resíduos de blocos de concreto, tijolos e blocos cerâmicos, verificando-se resultados, em geral, aceitáveis sob o aspecto de resistência e retração. Tais resultados indicam a possibilidade de uso deste tipo de entulho, faltando porém outros dados complementares.

As figuras 5 e 6 mostram o tipo de equipamento e os resíduos neste tipo de reciclagem.

3.2.2 Situação do tratamento do entulho em outros países

Vários países desenvolvidos, por sentirem problemas na escassez dos recursos naturais e/ou problemas no gerenciamento da questão ambiental, têm direcionado esforços na reciclagem do entulho. Iniciativas nesse sentido podem ser citadas⁹:

Fotos: Luiz T. Hamassaki



Figura 5 - Entulho selecionado em obra de edificação predial para ser reciclado no próprio local

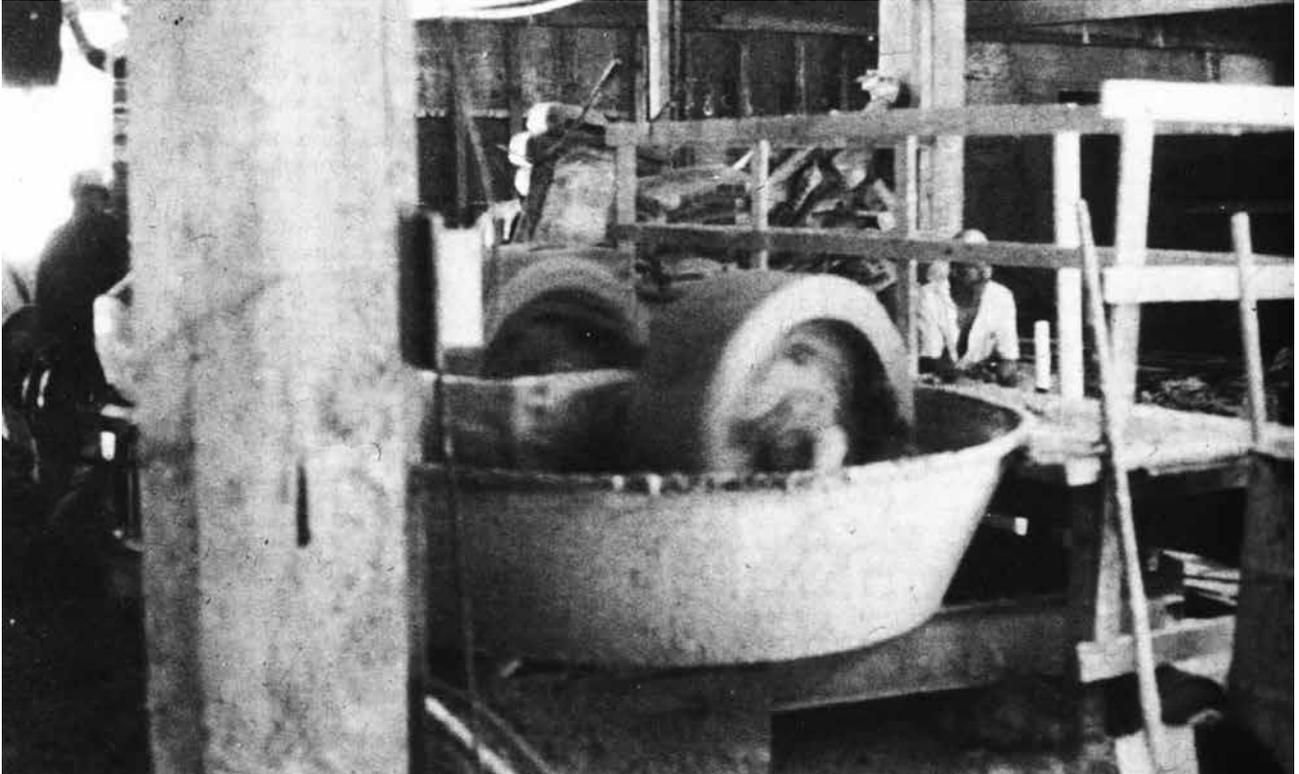


Figura 6 - Moinho de rodas triturando entulho gerado na própria obra, para ser usado em argamassa de alvenaria em edificação predial

- nos Estados Unidos, têm havido esforços para o isso de agregados reciclados por meio de britagem de concretos de demolição, para a área de pavimentos rodoviários;
- na Holanda, há proposição de norma para produção de concreto simples, armado e pretendido com uso de agregados obtidos pela reciclagem de concreto misturados a agregados originais, com quantidade acima de 20% do total de agregados utilizados;
- no Japão, semelhantemente aos Estados Unidos, detecta-se um encaminhamento na direção da normalização de agregados obtidos por reciclagem de estruturas e pavimentos de concreto demolidos;
- em outros países europeus, como Alemanha, Rússia, Dinamarca e Inglaterra, já há início de discussões e estudos para a implantação de normas para a reciclagem do entulho de demolição;
- por outro lado, um dos poucos países a ter experiências negativas com concreto de entulho reciclado foi a Bélgica, em duas pontes que tiveram de ser demolidas. Há iniciativas de retomar o assunto, mas um dos grandes temores dos belgas é o desenvolvimento das reações álcali-agregado, um tipo de anomalia cujo resultado é a fragmentação do concreto.

Como exemplo de aplicação¹⁰, uma das rodovias mais antigas e movimentadas no estado de Michigan tornou-se em 1983 a primeira rodovia de grande porte nos Estados Unidos a reciclar concreto. Em uma extensão de 5,7 milhas, de seção toda deteriorada, o pavimento de concreto foi usado novamente como agregado na construção do novo pavimento. Em 1984, outras 22 milhas foram da mesma forma recicladas.

3.2.3 Diferenças do entulho reciclado no Brasil e no exterior

A tendência nos países desenvolvidos é utilizar o agregado reciclado em alguns tipos de peças estruturais, misturado ou não com agregados naturais. Para que este objetivo seja alcançado, há necessidade do entulho reciclável ter boa qualidade (resistência, não estar contaminado por elementos deletérios à estabilidade do concreto, etc.), o que significa, em

resumo, que o entulho deverá ser proveniente de demolição, que pode ser avaliada quanto à qualidade para a execução da reciclagem.

4 CONDIÇÕES BÁSICAS PARA A RECICLAGEM

A implantação de um sistema para uso/destino racional, com ou sem reciclagem do entulho municipal, deve ser iniciada por um levantamento das informações, como, por exemplo: aspectos básicos do município; origem dos materiais; geração dos resíduos com análise do setor gerador; localização geográfica; quantificação da geração; coleta e transporte; disposição; composição¹¹.

A consulta ao manual “Manejo e Gestão de Resíduos da Construção Civil”, elaborado pelo Ministério das Cidades, Ministério do Meio Ambiente e Caixa, é um instrumento importante para o diagnóstico e planejamento das ações¹².

A avaliação do entulho municipal visa permitir, em resumo, um gerenciamento adequado ante os problemas ambientais e econômicos causados pela deposição irregular, assim como estabelecer em outro extremo todo o quadro inicial referente à origem dos materiais. É o caso, por exemplo, das areias e pedras britadas, extraídas normalmente de rios e pedreiras, que são também atividades de conflito ambiental.

Um outro segmento, em seqüência aos fatos anteriores, é a avaliação quanto à possibilidade de reciclagem do entulho.

A esse respeito, uma série de questões iniciais pode ser formulada, tais como:

- no planejamento global da reciclagem como será eliminada ou minimizada a quantidade de deposições ilegais?
- quanto representa o volume de material reciclado na preservação das fontes naturais de areia e pedra britada? E o alívio dos aterros oficiais?
- o produto da reciclagem tem qualidade ao longo do tempo para uso previsto? Quais serão os produtos? Qual será o mercado para estes produtos?

- os custos financeiros (equipamentos e pessoal) estão compatíveis com a atividade?
- quais as possibilidades de incentivar-se as iniciativas dos agentes privados?

Portanto, a decisão de reciclar deve envolver uma série de questões, que vão desde a quantificação do entulho até a implantação de elementos jurídicos para o respaldo das atividades previstas. Um exemplo de conjunto de ações a serem tomadas quanto à reciclagem pode ser avaliado a seguir⁴:

- planejamento: volume de resíduos presentes, fluxo de geração-remoção-destinação, custos ocorrentes, agentes sociais envolvidos;
- captação e reciclagem reunidos num só plano (fornecimento contínuo de resíduos no processamento). Dois objetivos: melhorar a limpeza urbana e reciclar para poupar aterros e ter-se material de baixo custo para obras públicas e privadas;
- previsão de amortização rápida dos investimentos (pela eliminação de custos da limpeza urbana e dos agregados convencionais);
- equacionamento de outros resíduos sólidos;
- previsão de obras e serviços para agregados reciclados;
- possibilidade de ações em parceria;
- sustentação jurídica.

Outras ações complementares podem ser adotadas:

- divulgação na imprensa e demais veículos de comunicação dos locais do programa a ser implantado, em especial quanto à forma operacional, pontos de localização de empreendimento, características gerais e benefícios resultantes;
- criação de sistema de coleta dos materiais a serem reciclados ou disciplinamento dos serviços caso estes já existam;
- criação de legislação específica, impondo sanções àqueles que vierem a desrespeita-las ou transgredi-las;
- implantação de grupo de gerenciamento e fiscalização específica para o programa;

- disseminação da cultura de reciclagem junto à população, de modo que esta possa se engajar nos programas e auxiliar com idéias e fiscalização destes.

ATENÇÃO

A decisão de reciclar deve ser fruto da avaliação de um conjunto amplo de variáveis. Ações municipais que não consideraram de uma forma mais abrangente a problemática do entulho tiveram resultados insatisfatórios, paralisando ou reduzindo as atividades previstas. O conhecimento da experiência das cidades que adotaram a reciclagem pode ser considerado como importante elemento de referência para uma efetiva implantação da reciclagem.

5 RECICLAGEM

5.1 Processo

O processo de reciclagem do entulho, para a obtenção de agregados, basicamente envolve a seleção dos materiais recicláveis do entulho e a trituração em equipamentos apropriados.

A seqüência deste processo é a seguinte:



O conhecimento dos resíduos que compõem o entulho, assunto do próximo item, é uma das referências iniciais mais importantes na compreensão técnica da reciclagem do entulho.

É importante o respeito às diretrizes das cinco normas brasileiras referentes ao assunto.^{13, 14, 15, 16, 17}

5.2 Materiais Recicláveis no Entulho:

Composição

Os resíduos encontrados predominantemente no entulho, que são recicláveis para a produção de agregados, pertencem a dois grupos, conforme a NBR15116 (Norma Conama):

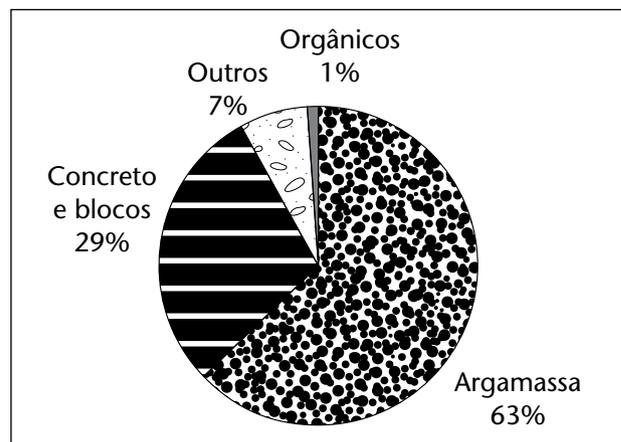
- *Grupo I* – materiais compostos de cimento, cal, areia e brita: concreto, argamassas, blocos de concreto, acima de 90%.
- *Grupo II* – materiais cerâmicos: telhas, manilhas, tijolos, azulejos, acima de 10%.

As características destes materiais são muito variáveis, mas podem ser homogeneizadas.

Os resíduos cerâmicos que, por um lado, podem não ter a resistência desejada, por outro podem apresentar, quando pulverizados, propriedades interessantes de plasticidade e retenção de água, fatores importantes para argamassas de revestimento e assentamento. Podem ainda, com uma finura semelhante à do cimento, apresentar atividade pozolânica, o que poderia ser fator de redução de consumo de cimento e/ou cal. Pozolanas são materiais silicosos ou silico-aluminosos, que tem pouca ou nenhuma qualidade cimentante; porém, quando na presença de umidade, reagem com o hidróxido de cálcio à temperatura normal, formando produtos com capacidade cimentante. Comercialmente, existe o cimento pozolânico, que consiste basicamente da mistura de cimento tradicional com pozolanas.

Há também a possibilidade de reciclagem de outros materiais como a madeira, embalagens de papel, embalagens e artefatos de plásticos, e outros. Desses materiais, alguns são passíveis de serem selecionados e encaminhados para outros usos. Assim, embalagens de papel e papelão, madeira (combustível) e mesmo vidro e metal podem ser recolhidos para reutilização ou reciclagem.

A composição do entulho sofre influência de vários fatores, como, por exemplo, as características regionais (geológicas e morfológicas); hábitos e costumes da comunidade; nível econômico; etc. A Figura 7 apresenta uma caracterização dos materiais presentes nos RCC em obras no Brasil.



Fonte: IPEA, 2012 (Dados 2009)

Figura 7 – Composição média do entulho de obras no Brasil (em %)

Levantamentos realizados em outras cidades mostram valores diferentes (ver Tabela 3). Porém, pode-se afirmar que a formação de dois grandes grupos fica bem caracterizada: o grupo dos produtos cerâmicos e o grupo dos produtos à base de cimento (concretos e argamassas). Neste último, vale observar ainda a clara prevalência das argamassas (composição básica: cimento e areia, resistência baixa) sobre os concretos (composição básica: cimento, brita e areia, resistência alta).

Tabela 3 – Composição do entulho municipal (em %)

Material	São Paulo (SP) ¹	Ribeirão Preto (SP) ²	Salvador (BA) ³	Florianópolis (SC) ⁴	Passo Fundo (RS) ⁵
Concreto e argamassa	33	59	53	37	15
Solo e areia	32	–	22	15	20
Cerâmica	30	23	14	12	38
Rochas	–	18	5	–	–
Outros	5	–	6	36	23

1 Brito Filho (1999 apud JOHN, 2000); 2 Zordan (1997); 3 Projeto Entulho Bom (2001); 4 Xavier et al (2002); Bonfante, Mistura e Naime (2002 apud BERNARDES, A. 2006)

Fonte: Adaptado de CARNEIRO (2005 p. 24)

Vale destacar que nos Estados Unidos mais dois tipos de materiais do entulho têm metodologia de reciclagem específica para o reaproveitamento: o pavimento asfáltico e a madeira. No Brasil, dependendo da região, é possível haver uma quantidade significativa desses materiais no entulho (principalmente para a madeira).

6 INSTALAÇÃO DA RECICLAGEM MUNICIPAL

Preliminarmente, deve ser analisada a preferência pela instalação de empreendimentos privados pela sua maior facilidade de sustentação das operações e de comercialização dos produtos.

Realizado o planejamento da reciclagem, conforme alguns aspectos levantados no item 4, como, por exemplo, a localização planejada da usina de reciclagem ante a distância de transporte e eliminação das deposições irregulares, a avaliação específica para o projeto da usina, quanto à instalação necessária para a reciclagem de entulho, deve considerar basicamente as áreas e os equipamentos para seleção, trituração e classificação dos materiais, conforme mostra a Figura 8.

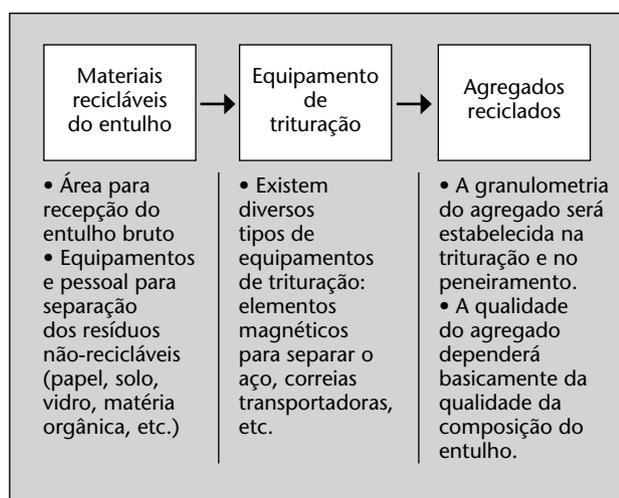


Figura 8 – Requisitos básicos da instalação de reciclagem municipal

6.1 Equipamentos

Os equipamentos de reciclagem de entulho assemelham-se em muito a equipamentos de britagem de rocha. A diferença básica se dá no tipo do britador que, preferencialmente, deve ser do tipo de impacto, por melhor se adequar à fragmentação dos entulhos.²

Via de regra, os equipamentos de reciclagem de entulho compõem-se de:

- silo de recepção, tipo calha vibratória;
- triturador;
- transportadores de correia;
- estrator de metais ferrosos;
- conjunto peneirador.

De acordo com pesquisas de Jadovski (2005) e informações da Abrecon (Associação Brasileira para Reciclagem de Resíduos da Construção Civil e Demolição), o investimento inicial para uma empresa de pequeno porte deve ser alocado nos seguintes itens: área, instalações e britagem, reforma e instalações, pá-carregadeira, caminhão basculante, mobiliários administrativos, marketing e despesas pré-operacionais (licenças, taxas, etc), totalizando cerca de R\$ 692.172,00. É importante ressaltar que esse valor de investimento pode ser bastante superior se considerarmos um empresa de médio/grande porte.¹⁹

Cuidados devem ser tomados para que a população não tenha problemas ambientais com a instalação da usina. Em Belo Horizonte (MG), por exemplo, foi executado tratamento acústico com mantas de borracha e nebulizadores, para evitar a formação de nuvens de pó.³

7 PRODUTOS DA RECICLAGEM

7.1 Restrição

Na reciclagem do entulho de construção – materiais cerâmicos, areia, brita, concretos e argamassas – deve-se considerar que a qualidade dos agregados obtidos pode ser muito variável e inferior aos agregados convencionais.

No âmbito da aplicação das normas técnicas tradicionais de agregado para concretos e argamassa, os agregados reciclados podem não satisfazer alguns valores limites especificados, principalmente se originários de argamassas e materiais cerâmicos.

7.2 Produtos

Pelos motivos citados anteriormente, o destino recomendado para o agregado reciclado são os elementos não estruturais, como, por exemplo, em:

- blocos de concreto de vedação;
- obras de pavimentação;
- guias e sarjetas;
- regularização e cascalhamento de ruas de terra;
- obras de drenagem;
- execução de contrapisos;
- contrapiso;
- contenção de encostas com sacaria de entulho-cimento;
- calçada;
- pavimentação para tráfego leve;
- Recuperação do sistema viário com aterro de entulho reciclado.

Observações mais detalhadas sobre alguns destes usos do entulho reciclado constam dos trabalhos de BRITO FILHO (1999)², LEVY (1997)⁹ e PINTO (1997)⁴. COELHO et al. (1998)¹⁸ descreve um estudo prático realizado pelos autores na fabricação de elementos de concreto (blocos e mourões), utilizando-se agregados reciclados de entulho.

7.3 Controle de Qualidade

Como somente agora a reciclagem de entulho tem atraído atenção, é compreensível que a normalização adequada vai demandar algum tempo

para ser implantada. É por isso que o conhecimento técnico qualitativo de agregado reciclado torna-se necessário para quem participa do final do processo. Como exemplo, saber que a absorção d'água do agregado de entulho reciclado pode ter valores bem acima do material usado normalmente, como se observa a seguir: areia de rio (0,7%); bloco cerâmico (9,6%); tijolo (17,4%) e bloco de concreto (5,6%).⁸

Na fase da trituração do entulho, deve ser controlado um parâmetro importante do agregado reciclado: a granulometria, que deverá ser adequada à finalidade estabelecida.

Dosagens experimentais devem ser feitas em laboratório, semelhantes às realizadas tradicionalmente para concretos e argamassas com materiais convencionais, com várias proporções de materiais, misturas com materiais convencionais, estudos comparativos, etc.

Os estudos comparativos objetivam estudar os concretos de agregados reciclados, tendo por referência os concretos agregados naturais, com avaliação de relação água/cimento para manter uma mesma consistência, resistência, retração, módulo de deformação, etc.

Um parâmetro importante é a análise ao longo do tempo das características dos agregados reciclados, com relação à sua homogeneidade, que é fundamental na avaliação geral do uso do agregado reciclado, por causa das características do entulho no estado bruto.

BIBLIOGRAFIA

1. BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. 2002. Resolução n– 307, de 5 de julho de 2002. Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil. Diário Oficial da República Federativa do Brasil. Brasília. n. 136, 17/7/02, seção I, p. 95-96.
2. São Paulo (Cidade). Prefeitura de São Paulo. Amlurb – Autoridade Municipal de Limpeza Urbana. *São Paulo, cidade limpa: gestão de resíduos sólidos e limpeza urbana para 12 milhões de pessoas* / Edição de Alfredo Nastari. São Paulo: CECOM – Centro de Estudos da Comunicação, 2016
3. SLU - Superintendência de Limpeza Urbana (SLU) – Prefeitura de Belo Horizonte/MG, 2016.
4. PINTO, T. P. 1997. Resultados da gestão diferenciada. Revista *Téchne*, n. 31, nov./dez. p. 31-34.
5. INDUSTRIALIZAÇÃO da construção habitacional. Relatório I, informações sobre a tecnologia da autoconstrução. 1994. São Paulo: ABCP/NUTAU.
6. IPEA – Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. “Diagnóstico dos Resíduos Sólidos da Construção Civil”. Brasília, 2012.
7. COELHO, P. E.; CHAVES, A. P. 1998. Reciclagem de entulho – uma opção de negócio potencialmente lucrativa e ambientalmente simpática. Revista *Areia & Brita*, Associação Nacional das Entidades de Produtores de Agregados para Construção Civil, n. 5, abr./maio/jun. p. 31-35.
8. HAMASSAKI, L. T.; SBRIGHI NETO, C.; FLORINDO, M. C. 1996. Uso de entulho como agregado para argamassas de alvenaria. In: SIMPÓSIO SOBRE RECICLAGEM E REUTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS COMO MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO CIVIL, 1996, São Paulo. Anais... São Paulo: EDUSP, Departamento de Engenharia Civil, p. 109-117.

9. LEVY, S. L. 1997. Reciclagem do entulho de construção civil. São Paulo. 147 p. Dissertação (mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.
10. MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. 1994. Concreto, estrutura, propriedades e materiais. São Paulo: Pini. p. 251-254.
11. SILVEIRA, G. T. R. 1993. Metodologia de caracterização dos resíduos sólidos como base para uma gestão ambiental. Estudo de caso: entulhos da construção civil em Campinas. Dissertação (Mestrado) – Universidade de Campinas.
12. Manual manejo e gestão de resíduos da construção civil. Disponível no site do Ministério das Cidades. <www.cidades.gov.br>.
13. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. 2004. Resíduos sólidos da construção civil e resíduos volumosos – áreas de transbordo e triagem – diretrizes para projeto, implantação e operação; NBR 15112. Rio de Janeiro: ABNT, 7 p.
14. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. 2004. Resíduos sólidos da construção civil e resíduos inertes – aterros – diretrizes para projeto, implantação e operação; NBR 15113. Rio de Janeiro: ABNT, 12 p.
15. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. 2004. Resíduos sólidos da construção civil – áreas de reciclagem – diretrizes para projeto, implantação e operação; NBR 15114. Rio de Janeiro: ABNT, 7 p.
16. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. 2004. Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil – execução de camadas de pavimentação – procedimentos: NBR 15115. Rio de Janeiro: ABNT, 10 p.
17. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. 2004. Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil – utilização em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural – requisitos: NBR 15116. Rio de Janeiro: ABNT, 12 p.
18. COELHO, P. E.; CHAVES, A.P.; DJANIKIAN, J. G. 1998. Reciclagem – aproveitamento de entulho em concreto. Revista Saneamento Ambiental, n. 54, nov./dez. p. 53-59.
19. SEBRAE – Empreendedorismo. Como montar um serviço de coleta de resíduos de construção. <http://www.sebrae.com.br/sites/PortalSebrae/ideias/como-montar-um-servico-de-coleta-de-residuos-de-construcao,e5597a51b9105410VgnVCM1000003b74010aRCRD>

CAPÍTULO IV

PROCESSAMENTO DO LIXO

PARTE 8 – RECICLAGEM DE OUTROS MATERIAIS

1 INTRODUÇÃO

No lixo municipal existem certos materiais que, embora presentes em quantidades bem menores em relação ao conjunto formado por matérias orgânicas putrescíveis, papel, vidro, plástico e artefato de metal, merecem atenção especial, devido aos problemas de saúde e de impacto ambiental que podem causar.

Dentre esses materiais estão os pneus, as pilhas, as lâmpadas fluorescentes e os resíduos contidos em embalagens de materiais de limpeza, inseticidas, herbicidas, cosméticos, tintas e remédios, que são liberados quando as embalagens são destruídas.

2 PNEUS

O pneu apresenta uma estrutura complexa, formada por diversos materiais, como: borracha, aço, tecido de *nylon* ou poliéster, visando conferir as características necessárias ao seu desempenho e segurança.

Os pneus usados podem ser reutilizados após sua recauchutagem. Esta consiste na remoção por raspagem da banda de rodagem desgastada da carcaça e na colocação de uma nova banda. Após a vulcanização, o pneu “recauchutado” deverá ter a mesma durabilidade que o novo. A economia do processo favorece os pneus mais caros, como os de transporte (caminhão, ônibus, avião), pois nestes segmentos os custos são melhor monitorados.

Há limites no número de recauchutagem que um pneu suporta sem afetar seu desempenho. Assim sendo, mais cedo ou mais tarde, os pneus são considerados inservíveis e descartados.

O descarte inadequado dos pneus causa vários problemas, entre eles: assoreamento de rios e lagos, ocupação de grandes espaços nos aterros, riscos de incêndio e, quando em terrenos baldios ou lixões, proliferação de insetos.

No caso de países com clima quente, como o Brasil, a armazenagem em pilhas em locais abertos não é uma boa prática, uma vez que o acúmulo de água no interior das carcaças propicia a proliferação de mosquitos transmissores de dengue, febre ama-

rela e encefalite. Recomenda-se, portanto, que as pilhas sejam cobertas para evitar a entrada de água ou, pelo menos, que as carcaças sejam perfuradas para drenagem.

No caso de pilhas de pneus, deve-se considerar também o risco de incêndio, pois estes queimam com facilidade, produzindo uma fumaça preta intensa e, como subproduto, um material oleoso que contamina a água do subsolo.

O descarte de pneus em aterros sanitários, mar, rios, lagos ou riachos, terrenos baldios ou alagadiços e queima a céu aberto está proibido por força da Resolução nº 258/99 (alterada pela Resolução nº 301/02) do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. Observou-se que carcaças jogadas em aterros representam sérios riscos ambientais, à medida que tendem a subir e sair para a superfície (SNYDER, 1986). Desta forma, recomenda-se, na ausência de outra solução, que as carcaças sejam cortadas antes de serem jogadas no aterro.

Os pneus descartados podem ser reciclados ou reutilizados para diversos fins. Neste caso, são apresentadas, a seguir, várias opções^{2, 3, 4}:

• Na engenharia civil

O uso de carcaças de pneus na engenharia civil envolve diversas soluções criativas, em aplicações bastante diversificadas, tais como, barreira em acostamentos de estradas, elemento de construção em parques e playgrounds, quebra-mar, obstáculos para trânsito e, até mesmo, recifes artificiais para criação de peixes.

Projetos para construção de aterros sanitários consideram a estabilização da manta impermeável com uma estrutura de pneus amarrados. Geralmente, o que limita estas aplicações é a pouca informação, pois o material é disponível, barato e muito resistente à ação do tempo.

• Na regeneração da borracha

O processo de regeneração de borracha envolve a separação da borracha vulcanizada dos demais componentes e sua digestão com vapor e produtos químicos, tais como álcalis, mercaptanas e óleos minerais. O produto desta digestão é refinado em moinhos até a obtenção de uma manta uniforme, ou extrudado para obtenção de material granulado.

Entretanto, não há processos que revertam total-

mente a vulcanização, uma vez que em todos eles o material resultante apresenta características inferiores às do composto original. Outro problema observado é que o material regenerado é resultado de uma mistura dos componentes presentes no pneu, com composição indefinida. Apesar de não ser consumida para pneus radiais, a borracha regenerada é usada em compostos destinados a produtos com menor exigência quanto ao desempenho, tais como tapetes, protetores, soldados, pneus industriais e de bicicletas.

A moagem do pneu em partículas finas permite o uso direto do resíduo de borracha em aplicações similares às da borracha regenerada.

• Na geração de energia

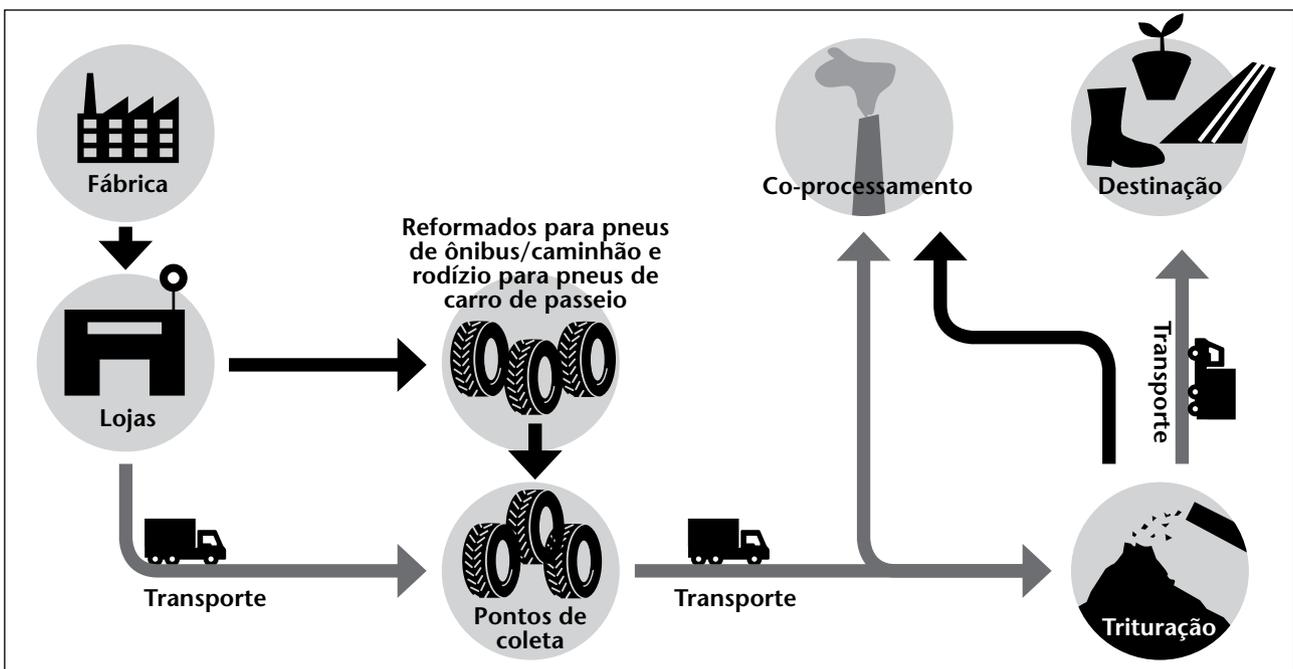
O poder calorífico de raspas de pneu equivale ao do óleo combustível, ficando em torno de 40 MJ/kg. O poder calorífico da madeira é por volta de 14 MJ/kg.

Os pneus podem ser queimados em fornos já projetados para otimizar a queima. Em fábricas de cimento, sua queima já é uma realidade em outros países. A Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP) informa que cerca de 100 milhões de carcaças de pneus são queimadas anualmente nos Estados Unidos com esta finalidade, e que o Brasil já está experimentando a mesma solução.

• No asfalto modificado com borracha

O processo envolve a incorporação da borracha em pedaços ou em pó. Apesar do maior custo, a adição de pneus no pavimento pode até dobrar a vida útil da estrada, porque a borracha confere ao pavimento maiores propriedades de elasticidade ante mudanças de temperatura. O uso da borracha também reduz o ruído causado pelo contato dos veículos com a estrada. Por causa destes benefícios, e também para reduzir o armazenamento de pneus velhos, o governo americano requer que 5% do material usado para pavimentar estradas federais seja de borracha moída. É o caso do Estado da Califórnia, que pavimentou 25 estradas com 1,7 milhões de pneus. Vale notar que nos estados do sul dos Estados Unidos, onde o clima é bem parecido com o do Brasil, são os que mais observam as vantagens de elasticidade no uso de asfalto modificado com borracha⁵.

Há longo tempo, a maioria dos países desenvolvidos vêm se preocupando com o descarte de pneus, e muitos já têm soluções implantadas. A título de exemplo, a Figura 1 apresenta o destino das carcaças de pneus no Brasil.



Fonte: Reciclanip⁶

Figura 1 – Ciclo de vida do pneu

No Brasil, há algumas iniciativas no sentido de encontrar soluções adequadas para dar uma destinação ambientalmente adequada aos pneus. A Resolução do CONAMA estabeleceu que os fabricantes e importadores de pneus deverão coletar e dar uma destinação adequada a pneus inservíveis, ou seja, aqueles que não possam mais ser reformados. Isso deverá se dar de forma escalonada, conforme determinado pela Resolução a saber:

I – A partir de 1º de janeiro de 2002: para cada quatro pneus novos fabricados no País ou pneus importados, inclusive aqueles que acompanham os veículos importados, as empresas fabricantes e as importadoras deverão dar destinação final a um pneu inservível.

II – A partir de 1º de janeiro de 2003: para cada dois pneus novos fabricados no País ou pneus importados, inclusive aqueles que acompanham os veículos importados, as empresas fabricantes e as importadoras deverão dar destinação final a um pneu inservível.

III – A partir de 1º de janeiro de 2004:

a) para cada um pneu novo fabricado no País ou pneu novo importado, inclusive aqueles que acompanham os veículos importados, as empresas fabricantes e as importadoras deverão dar destinação final a um pneu inservível;

b) para cada quatro pneus reformados importados, de qualquer tipo, as empresas importadoras deverão dar destinação final a cinco pneus inservíveis.

IV - A partir de 1º de janeiro de 2005:

a) para cada quatro pneus novos fabricados no País ou pneus novos importados, inclusive aqueles que acompanham os veículos importados, as empresas fabricantes e as importadoras deverão dar destinação final a cinco pneus inservíveis;

b) para cada três pneus reformados importados, de qualquer tipo, as empresas importadoras deverão dar destinação final a quatro pneus inservíveis.

A Reciclanip, entidade voltada para a coleta e destinação de pneus inservíveis, é uma consolidação do Programa Nacional de Coleta e Destinação de Pneus

Inservíveis, criado em 1999 pela Associação Nacional da Indústria Pneumática (ANIP). Fundada em março de 2007, a entidade conta hoje com mais de 1.000 pontos de coleta e uma média de 90 caminhões transitando diariamente. Esses pontos funcionam como centrais de recepção distribuídas em todos os Estados e no Distrito Federal, e foram criados em parceria com as prefeituras, que cedem os terrenos dentro das normas específicas de segurança e higiene para receber os pneus inservíveis vindos de origens diversas.⁶

Desde o início do Programa, a entidade encaminhou para destinação final adequada 4,1 milhões de toneladas de pneus, o que equivale a 821 milhões de pneus de automóveis. Atuando em convênio com as prefeituras, que cedem os locais e a estrutura para a instalação das centrais de recepção, a Reciclanip é responsável pelo transporte de pneus a partir do ponto de coleta até as empresas de trituração ou de reaproveitamento⁶.

Um dos usos mais comuns para os pneus inservíveis é como combustível alternativo para a indústria de cimento, chamado de co-processamento, devido seu alto calor líquido gerado por diferentes fontes de combustão. Outra boa parcela dos pneus são transformados em asfalto e borracha para diversos usos, como vedação, quadras poli-esportivas, pisos industriais, carpetes de carros e peças de reposição para a indústria automobilística. Por fim, os pneus não-radiais são cortados em lâminas que são utilizados para fazer solados de sapato, dutos de águas pluviais, etc.

O Programa Brasileiro de Reciclagem, do Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio⁷, sugeriu algumas ações prioritárias no caso dos pneus descartados, que são basicamente:

- engajar e, se possível, liderar os estudos em andamento no Estado de São Paulo, visando o equacionamento da reciclagem de pneus neste estado, estendendo-o para todo o Brasil no que for pertinente;
- os experimentos em andamento para a reciclagem de pneus na indústria de cimento devem ser fortemente apoiados;
- desenvolver para todo o Brasil plano de localização estratégica para armazenamento de pneus, visando sua futura reciclagem, como sugerido pela ANIP;

- realizar um estudo de custos e benefícios da importação de pneus usados;
- agir no sentido de que a reciclagem e disposição de pneus no Brasil conforme-se às melhores práticas em andamento no mundo.

Para o gerenciamento do descarte de pneus, sugere-se as seguintes ações:

- criação pelos fabricantes e importadores de centrais de recepção de pneus para armazenamento temporário até a destinação final ambientalmente adequada;
- gerenciar o descarte conforme a quantidade e o mercado existente para o mesmo;
- impedir o armazenamento em condições que possam permitir a proliferação de mosquitos a partir da água armazenada nas carcaças. Deve-se também impedir a sua queima ao ar livre, bem como seu lançamento em rios e lagos. É fundamental orientar o comércio, as borracharias e ainda os sucateiros sobre estes riscos;
- procurar um mercado para sua utilização. Neste caso, a viabilidade de transporte é fundamental, podendo-se utilizar equipamentos para reduzir o volume aos pneus por meio de quebra ou moagem.

DEFINIÇÕES CONSIDERADAS NA RESOLUÇÃO Nº 258/99 DO CONAMA

I – *Pneu ou pneumático*: todo artefato inflável, constituído basicamente por borracha e materiais de reforço utilizados para rodagem de veículos.

II – *Pneu ou pneumático novo*: aquele que nunca foi utilizado para rodagem sob qualquer forma, enquadrando-se, para efeito de importação, no código 4011 da Tarifa Externa Comum – TEC.

III – *Pneu ou pneumático reformado*: todo pneumático que foi submetido a algum tipo de processo industrial, com o fim específico de aumentar sua vida útil de rodagem em meios de transporte, tais como recapagem, recauchutagem ou remoldagem, enquadrando-se, para efeitos de importação, no código 4012.10 da Tarifa Externa Comum – TEC.

IV – *Pneu ou pneumático inservível*: aquele que não mais se presta a processo de reforma que permita condição de rodagem adicional.

3 PILHAS E BATERIAS

As pilhas e baterias, quando descartadas em lixões ou aterros sanitários, liberam componentes tóxicos que contaminam o solo, os cursos d'água e os lençóis freáticos, afetando a flora e a fauna das regiões circunvizinhas e o homem pela cadeia alimentar.

Devido a seus componentes tóxicos, as pilhas podem também afetar a qualidade do produto obtido na compostagem de lixo orgânico. Além disso, sua queima em incineradores também não consiste em uma boa prática, pois seus resíduos tóxicos permanecem nas cinzas e parte deles pode volatilizar, contaminando a atmosfera.

Os componentes tóxicos encontrados nas pilhas são: cádmio, chumbo e mercúrio. Todos afetam o sistema nervoso central, o fígado, os rins e os pulmões, pois eles são bioacumulativos. O cádmio é cancerígeno, o chumbo pode provocar anemia, debilidade e paralisia parcial, e o mercúrio pode também ocasionar mutações genéticas.

No Brasil, o problema do descarte de pilhas já está sendo equacionado pelas Resoluções nº 257/99 e nº 263/99 do CONAMA, que tem força de lei.

Considerando os impactos negativos causados ao meio ambiente pelo descarte inadequado das pilhas e baterias usadas e a necessidade de disciplinar o descarte e o gerenciamento ambientalmente adequado (coleta, reutilização, reciclagem, tratamento ou disposição final) de pilhas e baterias usadas, a Resolução nº 257/99 do CONAMA resolve em seu artigo primeiro:

“As pilhas e baterias que contenham em suas composições chumbo, cádmio, mercúrio e seus compostos, necessários ao funcionamento de quaisquer tipos de aparelhos, veículos ou sistemas, móveis ou fixos, bem como os produtos eletroeletrônicos que os contenham integrados em sua estrutura de forma não substituível, após seu esgotamento energético, serão entregues pelos usuários aos estabelecimentos que as comercializam ou à rede de assistência técnica autorizada pelas respectivas indústrias, para repasse aos fabricantes ou importadores, para que estes adotem diretamente, ou por meio de terceiros, os procedimentos de reutilização, reciclagem, tratamento ou disposição final ambientalmente adequada.”

Ainda segundo essa Resolução, os fabricantes, os importadores, a rede autorizada de assistência técnica e os comerciantes de pilhas e baterias ficam obrigados, no prazo de doze meses contados a partir da vigência desta Resolução, a implantar mecanismos operacionais para a coleta, transporte e armazenamento. No caso dos fabricantes e dos importadores de pilhas e baterias, a obrigatoriedade de implantar sistemas de reutilização, reciclagem, tratamento ou disposição final, no prazo de vinte e quatro meses contados a partir da vigência da mesma Resolução.

A Resolução nº 257/99 do CONAMA também impõe metas a serem atingidas quanto aos limites de chumbo, cádmio e mercúrio nas pilhas e baterias, que são:

- A partir de 1º de janeiro de 2000, a fabricação, a importação e a comercialização de pilhas e baterias passam a atender aos seguintes limites:
 - com até 0,025% em peso de mercúrio, quando forem dos tipos zinco-manganês e alcalina-manganês;
 - com até 0,025% em peso de cádmio, quando forem dos tipos zinco-manganês e alcalina-manganês;
 - com até 0,400% em peso de chumbo, quando forem dos tipos zinco-manganês e alcalina-manganês;
 - com até 25 mg de mercúrio por elemento, quando forem dos tipos pilhas em miniatura e botão.
- A partir de 1º de janeiro de 2001, a fabricação, a importação e a comercialização de pilhas e baterias passam a atender aos seguintes limites:
 - com até 0,010% em peso de mercúrio, quando forem dos tipos zinco-manganês e alcalina-manganês;
 - com até 0,015% em peso de cádmio, quando forem dos tipos zinco-manganês e alcalina-manganês;
 - com até 0,200% em peso de chumbo, quando forem dos tipos zinco-manganês e alcalina-manganês.

A Resolução CONAMA nº 263/99 inclui um inciso de número IV no artigo 6º da Resolução 257/99 com a seguinte redação:

IV – com até 25 mg de mercúrio por elemento, quando forem do tipo pilhas miniaturas e botões.

A Resolução nº 257/99 do CONAMA proíbe o lançamento das pilhas e baterias a céu aberto, tanto em áreas urbanas como rurais, sua queima a céu aberto ou em recipientes, instalações ou equipamentos não adequados e seu lançamento em cursos d'água, praias, manguezais, terrenos baldios, poços, cavidades subterrâneas, redes de drenagem de águas pluviais, esgotos, etc. No entanto, as pilhas e baterias que atingirem os limites estipulados a partir de 1º de janeiro do ano 2001 poderão ser dispostas juntamente com os resíduos domiciliares em aterros sanitários licenciados.

DEFINIÇÕES CONSIDERADAS NA RESOLUÇÃO Nº 257/99 DO CONAMA (baseadas na norma da ABTN NBR 7039)

Acumulador elétrico: é um dispositivo eletroquímico, constituído de um elemento e caixa, que armazena, sob forma de energia química, a energia elétrica que lhe seja fornecida, e que a restitui quando ligado a um consumidor.

Acumulador chumbo-ácido: é aquele cujo material ativo das placas positivas é constituído por compostos de chumbo e os das placas negativas essencialmente por chumbo, sendo o eletrólito uma solução de ácido sulfúrico.

Pilha: é um gerador eletroquímico de energia elétrica, mediante conversão geralmente irreversível de energia química.

Bateria: é um conjunto de pilhas ou acumuladores recarregáveis interligados convenientemente.

Pilhas e baterias portáteis: são aquelas utilizadas em telefonia e equipamentos eletrônicos, tais como: jogos, brinquedos, ferramentas elétricas portáteis, informática, lanternas, equipamentos fotográficos, rádios, equipamentos de som, relógios, agendas eletrônicas, barbeadores, instrumentos de medição e aferição, equipamentos médicos e outros.

Pilhas e baterias de aplicação: são aquelas utilizadas em aplicações específicas de caráter científico, médico ou militar, e aquelas que sejam parte integrante de circuitos eletroeletrônicos para exercer funções que requeiram energia elétrica ininterrupta em caso de fonte de energia primária sofrer alguma falha ou flutuação momentânea.

Baterias industriais: são aquelas que se destinam a aplicações estacionárias, tais como: telecomunicações, usinas elétricas, sistemas ininterruptos de fornecimento de energia, alarme de segurança, uso geral industrial e para partidas de motores diesel, ou, ainda tracionárias, tais como as utilizadas para movimentação de cargas ou pessoas e carros elétricos.

Baterias veiculares: são aquelas utilizadas para partidas de sistemas propulsores e/ou como principal fonte de energia em veículos automotores de locomoção em meio terrestre, aquático e aéreo, inclusive tratores, equipamentos de construção, cadeiras de roda e assemelhados.

4 LÂMPADAS DE DESCARGA DE GASES

São incluídas nesta categoria as lâmpadas de vapor de mercúrio, de vapor de sódio, de luz mista e também as lâmpadas fluorescentes. Esta última é a mais difundida, sendo usada em fábricas, escritórios e até mesmo em domicílios⁹.

As lâmpadas fluorescentes contêm substâncias químicas nocivas ao meio ambiente, como metais pesados, onde se sobressai o mercúrio metálico.

Enquanto intactas, as lâmpadas fluorescentes não oferecem riscos. Porém, ao serem descartadas no lixo, seu vidro é triturado e o mercúrio liberado se evapora. Quando chove, ele volta e contamina o solo e os cursos d'água.

Ingerido ou inalado pelo ser humano, o mercúrio tem efeitos desastrosos no sistema nervoso, podendo causar desde lesões leves até a vida vegetativa ou a morte.

Cada lâmpada fluorescente contém cerca de 15 mg de mercúrio, o que significa baixo risco de contaminação ambiental, considerando uma unidade isolada. Mas, os riscos aumentam no caso do descarte de grandes quantidades em um único local.

Nas cidades brasileiras, mais de 100 milhões de lâmpadas fluorescentes são anualmente consumidas, sendo 94% descartadas em aterros sem nenhum tipo de tratamento, sobretudo por estabelecimentos industriais e de serviços.

No Brasil, diferentemente de outros países, não há legislação que proíbe a disposição de lâmpadas no lixo. Por exemplo, na Alemanha, as lâmpadas precisam ser moídas, embaladas e enterradas em minas abandonadas⁹.

O processo de reciclagem de lâmpadas fluorescentes é conhecido e praticado no Brasil por uma empresa já estabelecida comercialmente. Este processo consiste na destruição da lâmpada de forma controlada: o vidro é separado do soquete e descontaminado, retornando à produção de lâmpadas ou sendo usado na composição de esmalte na vitrificação de cerâmicas. O soquete é vendido como sucata de alumínio e o mercúrio é filtrado e encaminhado para fabricantes de cloro-soda, pilhas, baterias e também lâmpadas.

4.1 Manejo e Disposição de Lâmpadas Fluorescentes Usadas

No caso de se estocar lâmpadas fluorescentes para uma disposição futura, é recomendável que estas sejam armazenadas em local ventilado e protegidas contra sua eventual ruptura por agentes mecânicos. Lâmpadas quebradas devem ser separadas das demais e acondicionadas em recipiente hermético, como um tambor de aço com tampa e em boas condições. Existe um contêiner para armazenagem e transporte de lâmpadas. Sua construção exclui quase por completo o risco de ruptura, além de dispor de filtro de carvão ativado, para eventuais emissões de vapores de mercúrio⁹.

ATENÇÃO!

Em nenhuma hipótese, as lâmpadas devem ser quebradas para serem armazenadas, sendo que somente as acidentalmente rompidas devem ser dispostas em recipientes herméticos. Esta operação é de risco para o operador, além de impossibilitar a separação automática dos soquetes de metal. É condenada a prática de "embutir" os contatos elétricos das extremidades da lâmpada, martelando os pinos para o seu interior, pois os orifícios resultantes acarretam vazamento do vapor de mercúrio.

O piso do local onde se manuseiam lâmpadas quebradas deve ser impermeável e monolítico, isto é, sem emendas ou fendas, devendo ser limpo, com aspirador de pó industrial (tendo filtro de carvão ativo), e não varrido. Semanalmente, o local deve ser coberto por uma fina lâmina de hipoclorito (água sanitária), seguida de uma solução diluída de sulfeto de sódio, em quantidades moderadas para que não escorram, devendo a primeira secar antes de se aplicar a segunda. O hipoclorito reagirá, formando cloreto de mercúrio e, por sua vez, o sulfeto reagirá com esse cloreto, resultando em sulfeto de mercúrio, um pó escuro e fino que é estável e insolúvel. A finalidade dessa lavagem é a de neutralizar as microgotas que se dispersam pela porosidade do piso, podendo gerar importantes emissões de vapor de mercúrio, dada a maior superfície específica dessas microgotas.

5 RESÍDUOS TÓXICOS CONTIDOS EM EMBALAGENS

Os resíduos químicos tóxicos presentes em embalagens de material de limpeza, inseticidas e herbicidas, quando descartados em aterros ou lixões, sob a ação da chuva, podem migrar para águas superficiais e subterrâneas e/ou ficarem retidos no solo, causando contaminação destes meios.

A tríplice lavagem das embalagens antes do seu descarte pode ser uma das práticas para resolução deste problema, porém, com certeza, não é a melhor, uma vez que o problema está apenas sendo transferido de lugar, ou seja, os resíduos tóxicos passariam a estar presentes no esgoto, que teria de ter tratamento especial para remoção destes.

Também as embalagens de agrotóxicos merecem especial atenção, tendo em vista que representam sérios riscos para o meio ambiente. A Lei nº 7.802, de 11 de julho de 1989 (alterada pela Lei 9.974/2000 e regulamentada pelo Decreto 4.074/2002), dispõe sobre a *pesquisa, a experimentação, a produção, a embalagem e rotulagem, o transporte, o armazenamento, a comercialização, a propaganda comercial, a utilização, a importação, a exportação, o destino final dos resíduos e embalagem, o registro, a classificação, o controle, a inspeção e a fiscalização de agrotóxicos.*

TRÍPLICE LAVAGEM

O procedimento para efetuar, a tríplice lavagem de embalagens é o seguinte (FERREIRA, 1994):

- esvaziar todo o conteúdo da embalagem em um tanque. Se este for líquido, deixar drenando por 30 segundos;
- adicionar água até cerca de 1/4 do volume da embalagem fechando-a em seguida;
- agitar ou rolar a embalagem para lavar todas as áreas do seu interior e despejar o líquido de lavagem no tanque;
- repetir este procedimento mais duas vezes;
- perfurar as embalagens metálicas e plásticas lavadas para evitar sua reutilização.

BIBLIOGRAFIA

1. SNYDER, R.H. 1986. The shape and the size of the scrap tire problem and some potential solutions. In: CONFERENCE ON TIRE TECHNOLOGY CLEMSON PROCEEDINGS. 1986. Clemson: University Greenville. 1986.
2. BLUMENTHAL, M. 1998. Scrap tire market development: the impact of state programs. Resource Recycling, mar. p. 15-19.
3. DUNN, J. R. 1993. Recycling and the use of elastomers – an overview. Florida: Rubber Division Meeting.
4. HUMPHREY, D.; BLUMENTHAL, M. 1998. Civil engineering applications of scrap tires: an emerging market. Resource Recycling, dec. p. 26-30.
5. USO de asfalto reciclado reduz custo de recuperação de estradas. 1992. IPT, Pesquisas e Serviços, jul. v. 4, n. 27.
6. RECICLANIP. <www.reciclanip.org.br>, 2016.
7. BRASIL. Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio. Secretaria de Política Industrial. 1999. PBR – Programa Brasileiro de Reciclagem. V. 1: Bases para o seu desenvolvimento estratégico.
8. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. 1987. Pilhas e acumuladores elétricos – terminologia; NBR 7039. São Paulo.
9. APLIQUIM. <www.apliquimbrasilrecicle.com.br>.
10. FERREIRA, J. V. 1994. O município e a questão dos agrotóxicos. São Paulo: CEPAM. V. 4. (Série Manuais).

CAPÍTULO IV

PROCESSAMENTO DO LIXO

PARTE 9 – TRATAMENTO TÉRMICO

1 INTRODUÇÃO

Os resíduos sólidos municipais (RSM) e de serviços de saúde (RSS) podem ser tratados termicamente antes de sua disposição final em aterros. O tratamento térmico de resíduos, do ponto de vista de um sistema de gerenciamento integrado de resíduos, deve estar associado à implantação prévia de políticas de redução de geração e reciclagem de resíduos.

Os tratamentos térmicos podem ser classificados como sendo de alta ou de baixa temperatura. Os tratamentos a alta temperatura normalmente ocorrem a temperaturas acima de 500°C e objetivam, principalmente, a destruição ou remoção da fração orgânica presente no resíduo, com redução significativa da sua massa (70%) e volume (90%), bem como a sua assepsia. A energia contida nos resíduos, nestes processos, pode ser parcialmente aproveitada, podendo gerar energia elétrica, água quente e vapor, ou combustíveis alternativos, auxiliando na redução do custo operacional do tratamento térmico. Os tratamentos a baixa temperatura ocorrem a temperaturas em torno de 100°C e visam, principalmente, a assepsia do resíduo sólido, razão pela qual são empregados somente para o tratamento de RSS. Nestes processos, a massa dos resíduos e o conteúdo de matéria orgânica praticamente não se alteram, mas pode-se obter uma redução significativa no seu volume.

2 TRATAMENTO TÉRMICO A ALTA TEMPERATURA

No tratamento térmico a alta temperatura pode ocorrer a combustão da fração orgânica dos resíduos, gerando principalmente gás carbônico (CO₂), água e cinzas, ou a decomposição térmica da fração orgânica, gerando gases, líquidos e sólidos combustíveis.

A combustão de resíduos ocorre em equipamentos projetados especificamente para este fim, denominados incineradores, que geralmente empregam ar como agente oxidante, operando a temperaturas acima de 800°C. Dentre os processos de tratamento térmico a alta temperatura, a incineração atualmente é o mais difundido, com um número elevado de unidades, muitas de grande porte, em operação comercial em todo o mundo. Países com pequena disponibilidade de área adequada para aterro, como Japão, Suíça e Suécia, não somente apresentam um

grande número de unidades em operação como têm apresentado uma tendência acentuada de crescimento desta forma de disposição ao longo dos anos. Isto tem ocorrido devido à incorporação, às novas unidades de incineração, de sistemas de recuperação de energia e de tratamento de gases de combustão mais eficientes, tornando-os mais interessantes do ponto de vista econômico e mais seguros do ponto de vista ambiental.

A Tabela 1 ilustra o percentual dos resíduos urbanos destinado aos aterros, incineração e compostagem em diferentes países.

Os processos de decomposição térmica de resíduos operam a temperaturas em torno de 600°C e ocorrem em reatores onde os teores de oxigênio ficam abaixo do estequiométrico (quantidade de ar necessária para a combustão completa do resíduo). Dentre os processos de decomposição térmica existentes, destacam-se: pirólise, gaseificação e liquefação. Estes processos, no entanto, ainda se encontram em fase de desenvolvimento e não serão abordados neste Manual.

Tabela 1 – Destino dos resíduos sólidos urbanos

País	Aterros e/ou lixões	Incineração com recuperação de energia	Compostagem + reciclagem
Brasil	87%	—	13%
Bélgica	5%	36%	60%
República Tcheca	83%	13%	4%
Alemanha	1%	35%	65%
Irlanda	62%	3%	35%
Espanha	57%	9%	34%
França	36%	32%	33%
Portugal	65%	19%	17%
Suécia	3%	49%	48%
México	76,5%	—	9,6%

Fonte: Eurostat, 2008, Sustenta, 2012 e Cempre, 2013

2.1 Incineração de Resíduos

A incineração é o processo mais antigo e o mais empregado de tratamento térmico de RSM e RSS, sendo feita a temperaturas acima de 800°C. Os gases de combustão devem-se manter a 1200°C por cerca de 2 segundos, com excesso de ar e turbulência elevadas a fim de garantir a conversão total dos compostos orgânicos presentes no RSM e RSS a gás carbônico e água. Os teores de oxigênio nos gases de combustão emitidos na chaminé devem ficar acima de 7% em volume.

Estas condições operacionais compõem o que se denomina boas técnicas de combustão, como ilustrado no quadro a seguir.

BOAS TÉCNICAS DE COMBUSTÃO

- **Temperatura elevada na câmara de combustão:** quanto maior a temperatura dos gases numa câmara de combustão maior é a velocidade de decomposição de compostos orgânicos eventualmente presentes. A temperatura normalmente recomendada é de 1200°C.
- **Teor de oxigênio elevado nos gases de combustão:** o oxigênio reage com os compostos orgânicos presentes nos resíduos, gerando gás carbônico (CO₂) e água (H₂O). À semelhança da temperatura, o teor de oxigênio interfere na velocidade de reação de decomposição de compostos orgânicos, que aumenta com o teor de oxigênio nos gases de combustão. O teor de oxigênio mínimo recomendado em gases de combustão de incineradores é de 7%. Teores muito elevados, por outro lado, podem reduzir significativamente a temperatura na câmara de combustão, piorando as condições da câmara.
- **Turbulência elevada nos gases de combustão:** para que o oxigênio reaja com os compostos orgânicos presentes nos gases de combustão ou nos resíduos sólidos, é necessário que ele entre em contato com estes compostos. Para isto é necessário que o estado de agitação na câmara de combustão, chamado de turbulência, seja muito elevado, promovendo um contato intenso do ar de combustão com os reagentes. Isto normalmente se consegue pela injeção de jatos de ar a alta velocidade logo acima do leito de resíduo sólido em combustão.
- **Tempo de residência na câmara de combustão:** mesmo em condições adequadas, as reações de combustão levam um tempo para ocorrer, variando com a temperatura, teor de oxigênio e turbulência. Em geral, as câmaras de combustão de volumes maiores também levam a tempos de residência maiores. Os tempos de residência em câmaras de combustão de incineradores têm variado de 0,8 a 2,0 segundos.

Devido à presença no RSM e RSS de compostos normalmente não encontrados nos combustíveis convencionais, como metais pesados e compostos clorados, e que levam à formação de compostos poluentes mesmo com a adoção de boas técnicas de combustão, todo equipamento de incineração deve ser equipado com um sistema eficiente de limpeza de gases independentemente do porte e projeto do incinerador.

Em alguns casos, como os incineradores de pequeno porte (menores que 200 kg/dia), os níveis legais de emissão de compostos poluentes são menos restritivos, podendo-se atingi-los sem o emprego de equipamentos de limpeza de gases eficientes. Isto pode ocorrer desde que boas técnicas de combustão sejam adotadas, o que depende de uma série de condicionantes, como emprego de operadores especializados, existência de instrumentação adequada, pequena variação na composição de resíduos, etc., requisitos geralmente não presentes nestes casos. Desta forma, pode-se afirmar que a incineração de resíduos em geral, de forma segura em termos ambientais, somente é possível com a instalação de sistemas de limpeza de gases.

As tecnologias de limpeza hoje disponíveis permitem atingir padrões de emissão abaixo dos exigidos pelas legislações mais restritivas e, contrariamente ao conceito geral existente, a incineração em equipamentos mais modernos pode apresentar vantagens, em termos ambientais, em relação a outros meios de disposição, como, por exemplo, o aterro. Neste último, a matéria orgânica presente no resíduo, ao ser decomposta, libera gás metano que, se não queimado, tem um potencial 21 vezes maior que o gás carbônico em relação ao efeito estufa, além de emitir outros gases que contribuem para a formação de compostos poluentes atmosféricos, bem como efluentes líquidos (chorume) que podem contaminar lençóis freáticos. Alguns países inclusive já apresentam restrições ao aterro de resíduos com teores de material orgânico elevados, como apresentado na Tabela 1.

A incineração com geração de energia elétrica também contribui para a redução de emissão global de gás carbônico na medida que boa parte do material orgânico presente nos resíduos é oriundo de fonte renovável (alimentos, papéis, etc.), substituindo combustíveis fósseis.

DESVANTAGENS DA INCINERAÇÃO DE RESÍDUOS

- **custo elevado:** a incineração apresenta custos elevados de instalação e de operação; no entanto, este custo, nas grandes metrópoles com baixa disponibilidade de áreas adequadas, está se aproximando do custo de disposição em aterros sanitários;
- **exigência de mão-de-obra qualificada:** os processos de incineração, independente do porte da unidade, exigem pessoal qualificado para garantir a qualidade da operação;
- **presença de materiais nos resíduos que geram compostos tóxicos e corrosivos:** alguns materiais, como pilhas, plásticos, etc., liberam compostos tóxicos e ácidos que não podem ser eliminados por boas técnicas de combustão, exigindo a instalação de sistemas de limpeza de gases.

VANTAGENS DA INCINERAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS

- **redução drástica de massa e volume a ser descartado:** a taxa de redução média em massa é de 70% e de volume, 90%, diminuindo o volume destinado para aterro;
- **recuperação de energia:** parte da energia contida nos resíduos pode ser recuperada para geração de energia elétrica e/ou vapor d'água
- **redução do impacto ambiental:** com as novas tecnologias de limpeza de gases de combustão, os níveis de emissão de poluentes podem ficar abaixo dos observados em processos de combustão convencionais, bem como contribuir para a minimização do efeito estufa devido à combustão de materiais de fontes renováveis (papéis, restos de alimentos e de produtos de origem vegetal) e à redução na emissão de gás metano e contaminação de lençóis freáticos observado em aterros;
- **esterilização dos resíduos:** a incineração destrói bactérias e vírus presente nos resíduos devido às elevadas temperaturas atingidas no interior dos incineradores, sendo amplamente utilizada no tratamento de RSS;
- **destoxicação:** empregando boas técnicas de combustão, produtos orgânicos tóxicos, como óleo asfáltico e produtos aromáticos, podem ser destruídos, razão pela qual a incineração é amplamente utilizada para o tratamento de resíduos industriais e descontaminação de solos contendo produtos químicos orgânicos e tóxicos.

2.1.1 Histórico

Desde os primórdios da civilização humana, a incineração de resíduos vem sendo praticada e o primeiro incinerador que se tem notícia foi construído na cidade de Nottingham, Inglaterra, em 1874. No Brasil, a primeira unidade foi instalada na cidade de Manaus, em 1896, vinte e dois anos depois da implantação da primeira unidade inglesa. Na cidade de São Paulo, o primeiro incinerador de RSM foi instalado no bairro de Araçá, hoje Sumaré². Este incinerador utilizava lenha para auxiliar a combustão dos resíduos e a alimentação era feita manualmente. Ele operou por 27 anos, até 1940, quando foi desativado por sua capacidade ter ficado abaixo da necessária e por se encontrar próximo à regiões residenciais. Em 1949, um novo incinerador foi instalado em Pinheiros, na Rua do Sumidouro, e sua alimentação era intermitente, ou seja, uma nova carga somente era alimentada após o término da incineração da carga anterior. Esta unidade operou até 1990, por 41 anos. Em 1959, foi instalado um incinerador com capacidade total de 300 t/dia no Bom Retiro, na região central de São Paulo, e é do tipo de grelha basculante. Unidade semelhante foi instalada no Ipiranga, região sul de São Paulo, e entrou em operação em 1968.

Estes equipamentos foram empregados prioritariamente como incineradores de RSS, sem dispor de sistemas de aproveitamento energético. Como o projeto destes incineradores foi obsoleto e anterior às atuais legislações ambientais, os sistemas de limpeza de gases existentes nestas instalações eram muito elementares, restringindo-se a sistemas primários de coleta de material particulado, sem capacidade de retenção de material particulado mais fino, gases ácidos e metais voláteis.

Inaugurado em 1968, o Incinerador Municipal Vergueiro foi planejado para incinerar lixo doméstico. Em 1977, a CETESB lacrou os incineradores que funcionavam junto a hospitais na cidade de São Paulo por questões técnicas. Os resíduos desses hospitais foram encaminhados ao Incinerador de Pinheiros (ativo até 1990), ao Incinerador da Ponte Pequena (ativo até 1997) e ao Incinerador Vergueiro (ativo até 2002). Ao longo dos anos foram desativados os incineradores municipais no interior do Estado. Os municípios passaram a destinar os resíduos a aterros e ao incinerador Vergueiro.

No decorrer do tempo, a região do entorno do incinerador Vergueiro tornou-se área residencial. Com tecnologia já obsoleta e baixa eficiência, o incinerador foi definitivamente desativado em fevereiro de 2002. Os resíduos antes queimados no local passaram a ser encaminhados a dois incineradores privados.

2.1.2 Planejamento de uma unidade de incineração

Um planejamento estratégico a longo prazo é essencial para se implantar uma usina de incineração com sucesso. Os responsáveis pelas decisões precisam lidar com uma variedade muito grande de questões de natureza política, econômica, técnica e social, tais como:

- encontrar um local para a instalação da unidade que fique próximo ao centro de geração de resíduos e que conte com infraestrutura adequada. A proximidade de pólos industriais consumidores de vapor para aquecimento ou de redes de distribuição de energia elétrica é interessante, pois a venda de utilidades geradas na unidade pode reduzir significativamente o custo de incineração;
- definir quem assume a propriedade e as responsabilidades decorrentes, incluindo os riscos ligados à instalação. Nos EUA, muitas usinas são de propriedade privada;
- seleção e coordenação de um fornecedor do incinerador com longa experiência e que ofereça garantias operacionais;
- contrato para incineração de resíduos com a Prefeitura, definindo claramente os aspectos quanto à garantia de fornecimento, características, pagamento, etc.;
- contrato de longo prazo para venda de energia elétrica e/ou vapor d'água;
- obtenção de financiamento a taxas compatíveis;
- levar em conta programas futuros de reciclagem de resíduos que podem influenciar no volume de resíduos disponível, no seu conteúdo energético e, conseqüentemente, na capacidade de geração da usina;

- vencer a resistência da população local, atuando com transparência e mostrando todas as ações que serão realizadas no sentido de minimizar os impactos ambientais.

2.1.3 Caracterização dos resíduos visando a incineração

Os resíduos sólidos tratados neste item de incineração se restringem aos resíduos municipais (RSM) e os resíduos de serviço de saúde (RSS).

2.1.3.1 Resíduos Sólidos Municipais (RSM)

A composição dos RSM apresenta uma grande variação de acordo com o nível de desenvolvimento do país, observando-se conteúdo energético maior e umidade menor nos resíduos de países desenvolvidos. A influência do nível socioeconômico na composição do RSM também se observa numa mesma localidade, como constatado na pesquisa realizada na cidade de São Paulo³. Observou-se que os resíduos domésticos de bairros com poder aquisitivo menor apresentam teores de material orgânico maiores, constituído principalmente por restos de alimentos, de baixo conteúdo energético. Os bairros com poder aquisitivo mais elevado apresentam porcentagens maiores de papéis e plásticos, de elevado conteúdo energético.

A determinação da composição e conteúdo energético do resíduo a ser incinerado é de fundamental importância para o dimensionamento correto da unidade de incineração e do sistema de limpeza de gases. Existem relatos de ocorrência de subdimensionamento de unidades nos EUA, provocado pela elevação do conteúdo energético do RSM ao longo do tempo. Desta forma, no projeto de novas unidades, deve-se fazer, além de determinações as mais corretas possíveis do conteúdo energético dos resíduos, projeções da evolução deste conteúdo ao longo do tempo de vida do equipamento, procurando-se, quando possível, levar em conta os programas de reciclagem.

Para uma caracterização do RSM mais próxima da realidade, deve-se realizar a coleta de uma amostra representativa do total de resíduo gerado, de acordo com procedimentos normalizados para resíduos heterogêneos, conforme os descritos na norma NBR 10007⁴.

A caracterização completa de um resíduo visando sua incineração engloba a determinação de:

- *poder calorífico inferior (PCI)*: indica a quantidade de energia útil que pode ser liberada durante a queima do resíduo. Quanto maior o PCI, maiores serão as potências liberadas no interior do incinerador e maiores as temperaturas atingidas;
- *análise imediata*: determina os teores de água, cinzas e matéria volátil do resíduo. O teor de cinza determina o montante de material a ser descartado em aterros após a incineração do resíduo;
- *análise elementar*: determina os teores de carbono, hidrogênio e nitrogênio. Esta análise possibilita avaliar a quantidade de ar necessária para realizar a combustão completa do resíduo;
- *teores de elementos tóxicos*: a partir dos teores médios de elementos tóxicos presentes no resíduo (mercúrio, cádmio, chumbo, cromo, níquel, cloro, enxofre, etc.) e não somente nas cinzas dos resíduos, pode-se estimar o potencial de geração e de formação de compostos tóxicos em processos de incineração e dimensionar adequadamente o sistema de limpeza de gases da unidade.

2.1.3.2 Resíduos Sólidos de Serviços de Saúde (RSS)

Resíduos de serviços de saúde, conforme a norma NBR 12807⁵, são os resíduos gerados por estabelecimentos prestadores de assistência à saúde pública ou correlatos, tais como: hospitais, clínicas médicas, postos de saúde, clínicas veterinárias, farmácias, laboratórios clínicos, clínicas odontológicas, institutos de pesquisa, etc.

A caracterização de RSS, devido à sua heterogeneidade e seu caráter patogênico, apresenta um grau de dificuldade maior do que a caracterização de RSM. As características do resíduo gerado estão relacionadas com o tipo dos serviços prestados pelo estabelecimento gerador e com a unidade geradora do resíduo (ver Capítulo IV – Processamento do Lixo – Parte 10: Resíduos de Serviços de Saúde).

A Tabela 2 apresenta os resultados obtidos numa caracterização feita em um hospital de Florianópolis (SC)⁶. Apesar de não ser uma análise completa, pode-se notar os altos teores de umidade e poder calorífico do resíduo, os quais são parâmetros importantes quando se pretende utilizar a incineração como forma de tratamento.

Os RSS apresentam conteúdos energéticos mais elevados que os RSM e, além de patogenicidade, apresentam também teores mais elevados de elementos tóxicos, como cloro e metais pesados. Desta forma, a incineração de RSS apresenta um potencial de geração de poluentes nos gases de combustão maior que a incineração de RSM, exigindo cuidados adicionais nos sistemas de limpeza de gases.

Tabela 2 – Caracterização química qualitativa e quantitativa dos resíduos de serviços de saúde

Parâmetro/fonte	Maternidade	Enfermaria	Ortopedia	Centro Cirúrgico	Outros ¹
Umidade (% peso)	59,3	24,1	7,8	28,6	12,2
Carbono (% peso)	32,3	30,8	27,6	27,9	32,0
Hidrogênio (% peso)	4,7	3,6	2,9	3,9	3,6
Enxofre (% peso)	0,3	0,0	1,4	0,5	0,3
Sólidos voláteis (%peso) ²	94,3	95,8	0,0	89,5	95,9
Poder calorífico inferior (MJ/kg)	6,652	11,962	-	10,119	14,495
Cloretos (% peso)	0,05	0,08	0,14	0,09	0,09

Fonte: OROFINO⁶

Notas: 1 – Pronto-socorro, laboratório, administração, etc.

2 – Sólidos voláteis é a diferença entre o total e as cinzas.

2.1.4 Tipos de incineradores

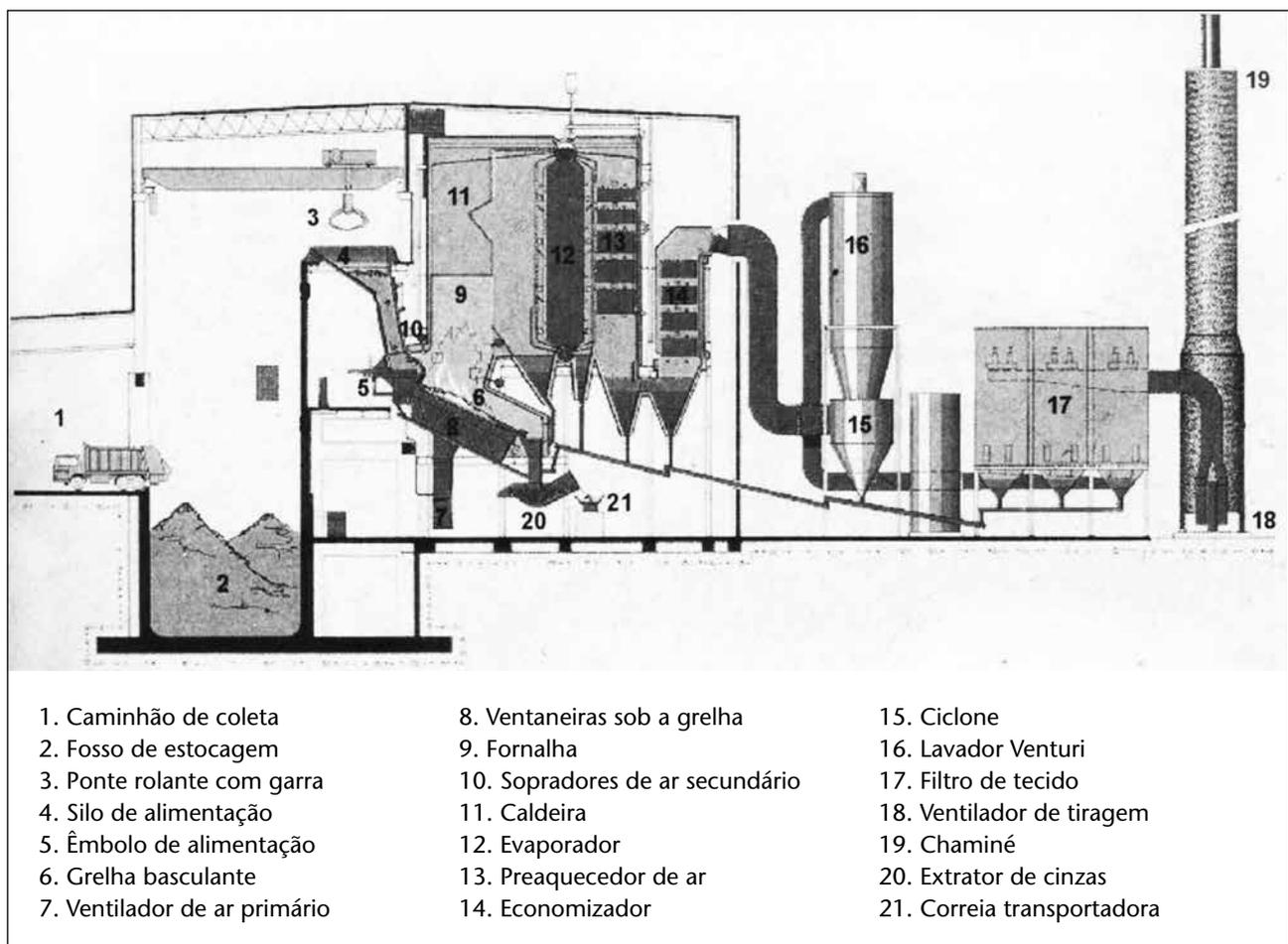
Os processos de incineração de RSM e RSS em escala comercial podem ser divididos em três grandes grupos: combustão em grelha, em câmaras múltiplas e em leito fluidizado. Outros equipamentos de incineração como os fornos rotativos se aplicam mais a resíduos industriais e não serão abordados neste Manual.

2.1.4.1 Incineradores de combustão em grelha

Incineradores com combustão em grelha são, atualmente, os equipamentos mais empregados para incineração de RSM. No mundo, muitas unidades têm geração de energia elétrica ou vapor para processos de aquecimento⁷.

Os incineradores com combustão em grelha podem incinerar RSM no estado bruto ou numa forma beneficiada, denominada combustível derivado de resíduos (CDR), resultado de um processo prévio de separação de materiais recicláveis do RSM, semelhante ao empregado na compostagem, gerando um material com granulometria menor e mais uniforme que o resíduo bruto, e mais adequado para a incineração.

Uma usina com incineradores de grelha normalmente é composta de dois a três equipamentos de combustão operando em paralelo, cada um com capacidade variando de 50 a 1000 t/dia. Estas instalações são erigidas no próprio local e as mais recentes têm a câmara de combustão revestida com parede de água, visando a recuperação de energia, e sistemas de limpeza de gases. Esquema de um incinerador de grelha de RSM bruto é apresentado na Figura 1.



Fonte: CATÁLOGO... [s.d.]⁸

Figura 1 – Esquema de usina de incineração de resíduos sólidos com recuperação de energia

Nos incineradores de RSM bruto, o material é alimentado na forma em que chega à usina de incineração. O RSM, depois de pesado, é descarregado em um fosso, onde o material inicialmente é revolvido por garras suspensas em pontes rolantes para homogeneização da carga. Este mesmo dispositivo carrega o silo de alimentação de onde o material é descarregado, por meio de êmbolos hidráulicos, para dentro da câmara de combustão do incinerador.

A grelha inclinada, do tipo basculante, desloca o resíduo através da câmara de combustão, provocando o seu revolvimento e a sua exposição às regiões de alta temperatura. Durante este deslocamento, o material vai se aquecendo e passa por secagem, perda de compostos orgânicos voláteis, combustão do resíduo carbonoso, e sai da câmara de combustão, ao fim da grelha, com uma pequena quantidade de material orgânico ainda presente, na forma de carvão. Este tipo de grelha pode operar com materiais com granulometrias bastante variadas, o que o torna bastante adequado à incineração de RSM em estado bruto.

Cerca de 60% do ar de combustão é introduzido por baixo da grelha e o restante entra por sobre a carga. O ar injetado, por baixo da grelha, normalmente preaquecido, tem a função de resfriá-la e auxiliar na secagem e combustão de RSM. O ar introduzido por sobre a grelha é injetado em alta velocidade para criar uma região de elevada turbulência e promover a sua mistura com os gases e vapores combustíveis gerados durante a decomposição térmica do RSM. A temperatura na região sobre a grelha atinge cerca de 1200°C, decompondo a maioria dos compostos orgânicos a CO₂ e água.

Os gases de combustão a alta temperatura, ao saírem desta região, trocam calor com as paredes do incinerador e trocadores de calor, gerando vapor, que pode ser utilizado para gerar energia elétrica ou para fins de aquecimento.

Na combustão de RSM, além do CO₂ e água, também podem se formar gases extremamente corrosivos, como: ácido clorídrico, cloro, ácido fluorídrico, etc. Desta forma, as tubulações metálicas próximas às grelhas têm de ser revestidas com material refratário e as temperaturas de superaquecimento de vapor têm de se limitar a 420°C. Temperaturas maiores podem ser atingidas, exigindo o revesti-

mento dos superaquecedores com ligas metálicas resistentes aos gases ácidos como o inonel⁷. Na saída desta região, os gases ainda se encontram aquecidos, a cerca de 400°C, e normalmente passam por mais uma seção de troca de calor, aquecendo o ar de combustão.

Os gases de combustão, então resfriados a cerca de 250°C, são enviados para os sistemas de tratamento de gases para remoção de gases ácidos, material particulado, dioxinas e furanos e metais pesados eventualmente presentes. Existem diversos sistemas de limpeza de gases em escala comercial, alguns dos quais apresentando eficiência de remoção de poluentes bastante elevada, como descritos mais adiante.

Ao fim da grelha, a fração orgânica do RSM deve estar quase totalmente consumida, restando uma fração predominantemente inorgânica, denominada cinza de fundo. Na prática, uma pequena fração orgânica ainda sai com as cinzas na forma de carvão. Estas cinzas são apagadas em um tanque de água e, depois de desaguadas, são enviadas para disposição final em aterros.

Os sistemas de limpeza de gases geram um material sólido fino, em geral com carga de material tóxico muito maior que as cinzas de fundo, e que podem, dependendo da concentração destes produtos tóxicos, requerer a disposição em aterros especiais, para resíduos de Classe I (ver Capítulo II – Origem e Composição do Lixo).

O vapor gerado pode ser utilizado para geração exclusiva de energia elétrica ou energia elétrica e vapor, este último normalmente empregado para aquecimento de processos industriais. O sistema de geração simultânea de vapor e energia elétrica é conhecido por cogeração. No primeiro caso, o vapor gerado é expandido em uma turbina e ao sair é totalmente condensado. Na cogeração, a expansão de vapor se dá até uma pressão intermediária (normalmente 3 atm) e, ao sair da turbina, é enviado para a unidade consumidora deste vapor.

O condensado gerado pela unidade é retornado à usina de incineração e o rendimento energético de uma usina operando em cogeração pode atingir 60%⁸. Este rendimento é bem maior que o de uma unidade com geração exclusiva de energia elé-

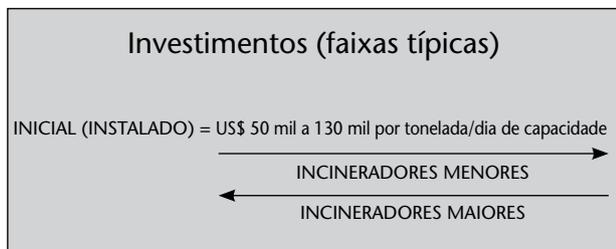
trica, que atinge cerca de 22%, gerando cerca de 600 kWh/t de RSM bruto. Neste cálculo, partiu-se de um RSM com poder calorífico inferior (PCI) em torno de 10,5 MJ/kg. Países de clima frio também podem gerar água quente, no lugar de vapor, para aquecimento residencial e industrial.

Nos EUA tem se tornado frequente a incineração de combustível derivado de RSM. Este resíduo, por apresentar dimensões menores e mais uniformes que o RSM, não precisa ser revolvido para ser incinerado. Desta forma, o projeto da grelha e da câmara de combustão é mais simples e se assemelham aos de caldeiras a carvão e biomassa, mas necessitam de proteção adicional contra gases corrosivos da mesma forma que os incineradores de RSM na forma bruta.

• Custos de incineração e investimentos em incineradores a grelha

O investimento num incinerador a grelha com geração de energia elétrica e sistema de limpeza de gases varia de acordo com sua capacidade, segundo o esquema do Quadro 1. O custo de incineração do RSM, por sua vez, além de depender da capacidade do incinerador, depende também do preço da energia elétrica e do poder calorífico do RSM. Quanto maior o preço de venda da energia elétrica e maior o poder calorífico do RSM, menor é o seu custo de incineração.

Quadro 1 – Investimentos em um incinerador



Para uma unidade de incineração com capacidade de 1800 t/dia de RSM na cidade de São Paulo, o que representa cerca de um décimo do total gerado por dia, com PCI em torno de 6,3 MJ/kg e gerando energia elétrica a uma eficiência de cerca de 18,5%, estima-se que o investimento direto seja cerca de US\$ 90 milhões. Para um preço de venda de energia elétrica de US\$ 50,00/MWh, calcula-se que

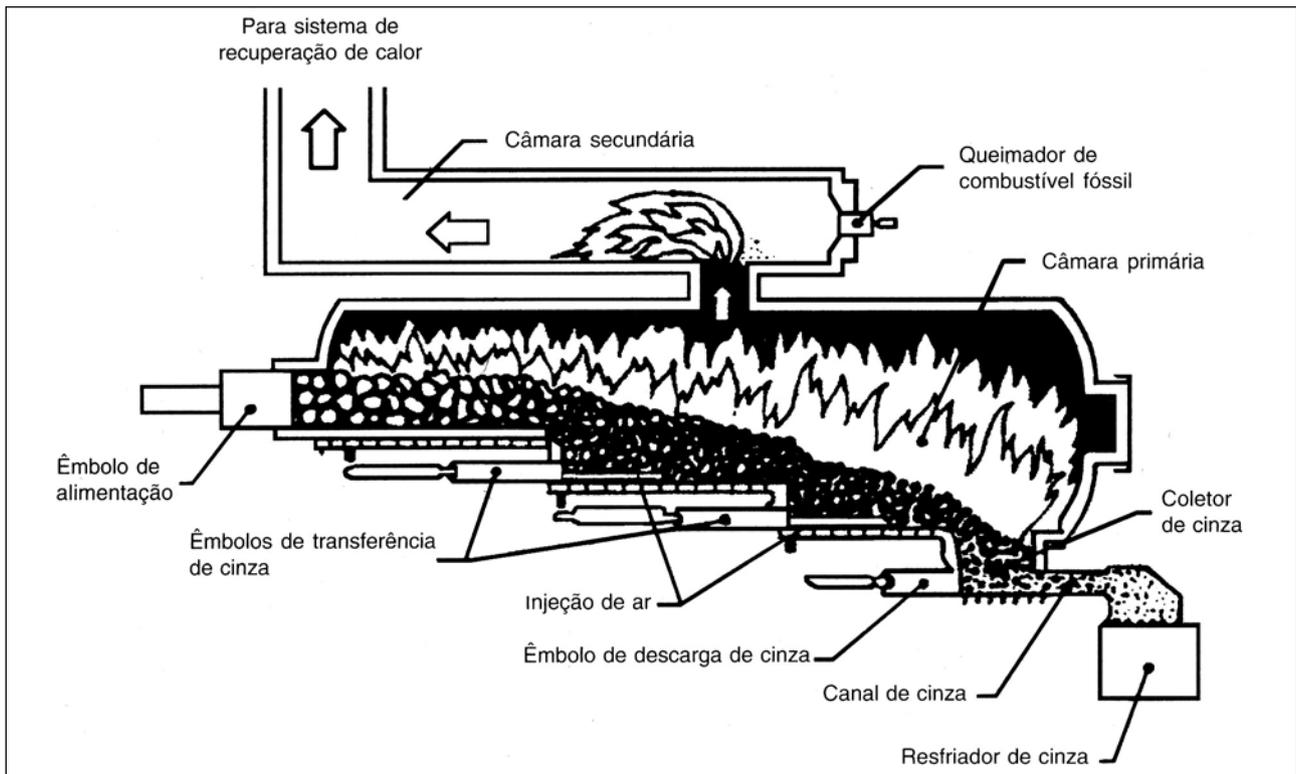
o preço de disposição de RSM fique em torno de US\$ 27,00/t, incluindo a remuneração do capital e o custo de disposição das cinzas geradas em aterros sanitários, a um custo de US\$ 20,00/t. Se o PCI do RSM for maior de 7,2 MJ/kg, o custo de incineração cai para US\$ 25,00/t. Estes valores são próximos do custo de disposição de RSM via aterro sanitário.

No caso de se gerar vapor para aquecimento industrial ou residencial ao invés de gerar energia elétrica, o custo de incineração fica ainda menor, devido, principalmente, ao aumento de eficiência do aproveitamento energético e à redução no valor de investimento (não há investimento em sistema de geração de energia elétrica). O investimento inicial cai para cerca de US\$ 73 milhões e, assumindo que o preço de venda por tonelada de vapor gerado seja de US\$ 13,40/t (base de cálculo: óleo combustível a US\$ 192,50/t), o custo de incineração para RSM com poder calorífico inferior (PCI) de 6,3 MJ/kg fica em torno de US\$ 12,40/t. Para o PCI maior, o custo cai ainda mais, chegando a US\$ 9,40/t, cerca de 2 vezes menor que o custo em aterros sanitários.

Deve-se observar que a viabilidade da geração de vapor para fins de aquecimento depende da existência de um consumidor localizado nas proximidades da usina de incineração, o que nem sempre é viável. Nos países frios, onde existe o consumo tanto industrial como residencial de vapor e água quente, esta alternativa certamente é a mais imediata e interessante.

O poder calorífico do RSM nos EUA tem se elevado ao longo do tempo, passando de 8,8 MJ/kg, em 1960, para 10,4 MJ/kg, em 1980, devendo atingir 12,9 MJ/kg em 2000⁹. Este fato tem levado ao subdimensionamento de algumas unidades, uma vez que a capacidade destas unidades é limitada pela carga térmica. Com a elevação do poder calorífico, diminui-se o total de RSM incinerado, reduzindo o faturamento com a incineração.

A situação futura do PCI do RSM americano não está clara, pois, com a implantação de métodos de gerenciamento de RSM, existe uma tendência de se diminuir a quantidade de papéis, papelões e plásticos, reduzindo o PCI. Por outro lado, também há a tendência de redução nos teores de metais e outros inorgânicos, bem como resíduos de jardinagem, o que elevaria o PCI.



Fonte: USEPA¹⁰

Figura 2 – Desenho esquemático de um incinerador de câmaras múltiplas

A título de exemplo, pode-se citar o que ocorre na cidade de São Paulo (SP), onde se observa no RSM o aumento da presença de certos itens, como, por exemplo, plástico, e a diminuição de outros, como o de matéria orgânica. O PCI médio obtido em levantamento envolvendo 10 distritos da cidade de São Paulo ficou em 8,3 MJ/kg, um pouco acima do PCI utilizado para o cálculo do custo de disposição de RSM apresentado anteriormente³.

• Prazo de implantação de uma unidade de incineração de grande porte

O tempo necessário para implantar uma unidade de incineração do porte de 1800 t/dia de RSM pode levar de 5 a 8 anos: 2 a 3 para a definição do local, obtenção da permissão e execução do projeto e 3 a 5 para a sua construção.

2.1.4.2 Incineradores de câmaras múltiplas

Os incineradores de câmaras múltiplas são pequenas unidades de incineração de resíduos sólidos no estado bruto, com capacidade variando de 0,2

a 200 t/dia. Elas são compostas geralmente por câmaras revestidas de refratário, como exemplificado na Figura 2, e podem operar de forma contínua ou descontínua. O RSM é alimentado à primeira câmara por um êmbolo e a carga vai caminhando ao longo de grelhas fixas auxiliado por outros êmbolos, sofrendo quedas e revolvimento entre eles. Parte do ar é introduzido por baixo das grelhas e a quantidade injetada normalmente fica bem abaixo do estequiométrico, sendo suficiente para manter temperaturas de cerca de 600°C na primeira câmara.

Esta técnica auxilia no controle da combustão e minimiza a emissão de material particulado (arrasta pouco material sólido da primeira câmara). O resíduo sólido vai se consumindo e ao fim da primeira câmara as cinzas são descarregadas e apagadas em tanques de água. Os gases não queimados vão para a segunda câmara, onde são misturados com os gases de um queimador auxiliar. Estes gases devem entrar em alta velocidade para provocar turbulência elevada na segunda câmara e, conseqüentemente, garantir uma boa mistura destes gases com os da primeira câmara.

Os teores de oxigênio também devem ser elevados para garantir a combustão dos compostos não queimados na primeira câmara. Os excessos de ar ficam em torno de 100 a 200% e as temperaturas em torno de 1200°C. Ao final da segunda câmara pode-se colocar dispositivos de recuperação de calor, sendo os mais comuns geradores de vapor e de água quente. Devido às baixas pressões de vapor gerados e aos custos elevados de unidades de geração de energia elétrica, estes tipos de equipamentos não são utilizados para geração de potência.

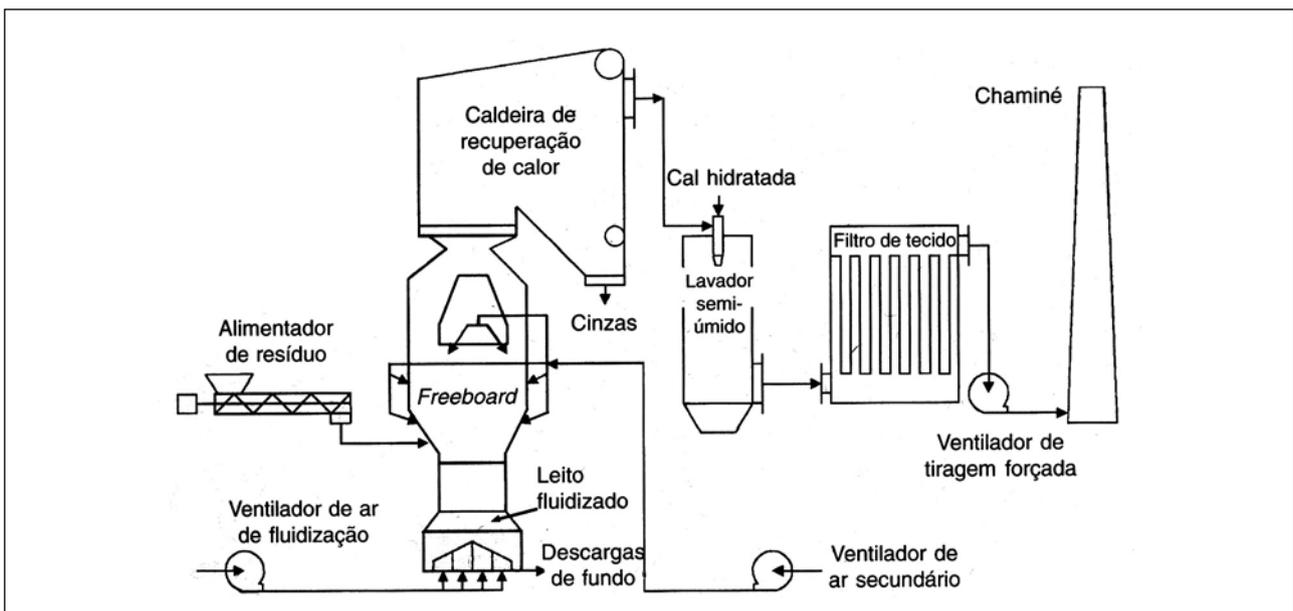
As unidades de menor capacidade (até 1 t/dia) operam em geral de forma descontínua, com alimentação manual, sobre uma grelha única, fixa. Nestas unidades, em geral, não é feita a recuperação de energia e a descarga de cinza ocorre somente após o término do ciclo de incineração, que dura geralmente 10 horas. Devido à sua simplicidade de construção e de operação, e sua pequena capacidade, estes incineradores foram amplamente utilizados para a incineração de RSS em todo o mundo. No entanto, como explicado anteriormente, certos poluentes, como os gases ácidos (HCl, Cl₂ e SO₂) e outros poluentes voláteis (mercúrio, cádmio, sais clorados de metais, etc.), não podem ser eliminados somente pela adoção de boas técnicas de combustão nestes incineradores.

Desta forma, as emissões destes compostos nos

incineradores de câmaras múltiplas sem sistemas de limpeza de gases eficientes, mesmo quando operados com boas técnicas de combustão, têm ficado muito acima dos padrões de emissão, razão pela qual muitos deles ou têm sido reformados para a instalação de sistemas de limpeza de gases mais eficientes ou simplesmente colocados fora de operação. Deve-se lembrar que, quando eles não são operados com boas técnicas de combustão, outros poluentes, além dos citados, podem ser emitidos, como material particulado, monóxido de carbono, dioxinas e furanos, etc.

Os custos de incineração de resíduos nestes equipamentos tendem a ser maiores do que os de incineradores de maior capacidade, apesar dos investimentos iniciais serem bem menores.

Prática comum em incineradores modernos projetados para incinerar RSM e dotados de sistemas eficientes de limpeza de gases têm sido incinerar RSS em conjunto com RSM. Testes realizados no Canadá indicaram um ligeiro aumento nos níveis de emissão de alguns poluentes nos gases, mas estes ainda permaneceram dentro dos padrões de emissões locais. Esta parece ser uma alternativa interessante à incineração exclusiva de RSS, pois um dos itens que mais encarece os sistemas de incineração de pequeno e médio porte é o de limpeza de gases, já incorporado no projeto de grandes unidades de incineração de RSM¹¹.



Fonte: Adaptado de ISHIKAWA et al.¹²

Figura 3 – Esquema de um incinerador de leito fluidizado

2.1.4.3 Incineradores de leito fluidizado

Sistemas de combustão e gaseificação em leito fluidizado vêm sendo empregados nos últimos 60 anos, tendo sido inicialmente desenvolvidos para a gaseificação de carvão mineral na Alemanha. Desde então, esta tecnologia vem sendo aplicada em indústrias petroquímicas, de geração de potência e, mais recentemente, para incineração de resíduos municipais e industriais, principalmente no Japão.

A capacidade destes incineradores se situa entre o de grelha e o de câmaras múltiplas, com dimensões variando de 3 a 15 metros de diâmetro e 10 a 15 metros de altura.

Nestes equipamentos, conhecidos como leito fluidizado borbulhante, um material fino inerte, normalmente areia, é mantido em suspensão por uma corrente de ar injetada na base do leito, chamado de ar de fluidização, como indicado no esquema da Figura 3. Este leito se comporta como um líquido e, no início de operação, ele é aquecido por queimadores auxiliares localizados acima do leito. Quando a temperatura atinge cerca de 400°C, inicia-se a alimentação de resíduo sólido, que pode ser feita acima ou dentro do leito. A agitação no interior do leito, por ser muito intensa, distribui o resíduo sólido de maneira uniforme por todo o leito. As partículas de resíduo sólido alimentadas trocam calor de forma intensa com a areia, que constitui cerca de 95% em massa do leito, e se aquece, seca e entra em combustão rapidamente. Atingida a temperatura de operação, em torno de 600°C, desliga-se os queimadores auxiliares. A partir daí, a operação consiste em alimentar continuamente o resíduo, retirando sempre a cinza gerada.

As cinzas do resíduo sólido são arrastadas e coletadas nos sistemas de limpeza de gases ou são removidas pela base do leito, por descargas programadas. Materiais de elevada densidade como os metais tendem a se acumular no fundo do leito, sendo removidos juntamente com descargas periódicas de fundo.

A carga térmica armazenada na areia do leito torna-o pouco suscetível a flutuações temporárias de umidade e de teor de material orgânico no resíduo alimentado, mas que podem provocar grandes perturbações em outros tipos de incineradores.

Os compostos orgânicos arrastados do leito, que

podem estar na forma sólida ou gasosa, são queimados na região superior do leito de areia, conhecido como *freeboard*. Esta região funciona como um pós-queimador, com função semelhante à da segunda câmara do incinerador de múltiplas câmaras. Nesta região injeta-se ar secundário com elevada turbulência para a combustão dos orgânicos não queimados, elevando a temperatura destes gases até cerca de 900°C. A relação de ar secundário para ar primário geralmente é de 2/1. A temperatura no leito, a fim de evitar problemas de fusão e aglomeração de partículas de areia, é mantida em torno de 600°C. Os tempos de residência nestes equipamentos são bastante elevados, ficando em torno de 10 segundos.

Os gases, após o *freeboard*, são enviados para os sistemas de recuperação de energia e tratamento de gases. Nestes equipamentos pode-se fazer ainda um pré-tratamento dos gases pela adição de calcário ou dolomita ao leito. Estes compostos reagem com boa parte dos gases ácidos formados a partir da combustão de resíduos sólidos, formando sais, como o sulfato de cálcio e o cloreto de cálcio, que podem ser removidos com os inertes do leito ou descargas de fundo. Esta adição alivia o sistema de limpeza de gases, mas a sua presença continua sendo necessária.

Estes incineradores também podem ser utilizados para incinerar resíduos líquidos, pastosos e gasosos, razão pela qual têm sido muito utilizados para a incineração de lodo de esgoto.

Estas unidades apresentam algumas desvantagens, como a necessidade de um beneficiamento prévio do resíduo, principalmente dimensional (partículas de no máximo 2,5 cm), reposição constante de inertes, devido ao desgaste das partículas no leito, e uma dificuldade operacional maior.

2.1.5 Origem e formação dos poluentes encontrados nos gases de combustão em um incinerador e seus efeitos à saúde

2.1.5.1 Poluição

Entende-se como poluente qualquer forma de matéria (sólida, líquida ou gasosa) e de energia que pode causar danos ao meio ambiente, ou seja, poluição. Os efeitos causados pela poluição podem ocorrer em nível local, regional ou global, manifestando-

se na saúde e bem-estar da população, na fauna, na flora, nas águas, etc.

O desenvolvimento tecnológico tem possibilitado o surgimento de novos produtos, como pilhas elétricas, plásticos, tintas, solventes, etc., que, embora inofensivos nas condições de uso para as quais foram desenvolvidos, podem liberar ou formar componentes poluentes em processo de incineração.

2.1.5.2 Processo de incineração e geração de poluentes

O processo de incineração ideal deveria gerar apenas 3 produtos: dióxido de carbono (CO_2), água e cinzas. Os dois primeiros são os produtos da combustão completa do material orgânico presente em resíduos sólidos com o oxigênio do ar, e o último é decorrente da presença de materiais não-combustíveis.

Porém, devido à presença de alguns elementos nos resíduos sólidos, pode-se formar ou volatilizar compostos, como óxidos de enxofre, óxidos de nitrogênio, ácido clorídrico, cloretos metálicos, etc., que, se lançados diretamente para a atmosfera, causam a poluição atmosférica. No caso de ocorrerem problemas operacionais no incinerador, podem-se formar outros poluentes, como monóxido de carbono, fuligem, dioxinas, etc.

O processo de incineração, em geral, apresenta cinco pontos de geração de poluentes: cinzas de fundo, cinzas volantes que são arrastadas junto com os gases, água de limpeza dos gases, lamas do tratamento das águas e os próprios gases. Note-se que, ao se prevenir a poluição de um meio físico (ar, água e solo), sempre se estará transferindo esta poluição para outro, ou seja, ao limpar os gases para prevenir a poluição atmosférica, estar-se-á gerando efluentes líquidos e sólidos que, se não controlados, provocam a poluição das águas e do solo.

O Quadro 2 apresenta os principais poluentes gerados em uma unidade de incineração e a fase em que normalmente se encontra.

Quadro 2 – Fase dos principais poluentes gerados em unidades de incineração

Poluente	Fase
Material particulado (cinzas de fundo e cinzas volantes)	Sólida
Efluentes líquidos dos sistemas de limpeza dos gases	Líquida
Lama do sistema de tratamento de efluentes	Sólida
Óxidos de enxofre (SO_2 e SO_3)	Gasosa
Óxidos de nitrogênio (NO_x)	Gasosa
Metais tóxicos	Gasosa e sólida
Compostos orgânicos tóxicos	Gasosa
Ácido clorídrico	Gasosa
Ácido fluorídrico	Gasosa
Cloro	Gasosa

2.1.5.3 Formação dos poluentes em um sistema de incineração

• Poluentes no estado sólido e líquido

As unidades de incineração, em geral, geram três tipos de resíduos sólidos: cinzas de fundo ou de grelha, cinzas volantes, também conhecidas como material particulado, e lamas da estação de tratamento das águas do sistema de limpeza dos gases.

Estes resíduos sólidos gerados nas unidades de incineração podem ser reaproveitados, antes do envio à disposição final, reciclando-se parte dos compostos contidos neles. Em algumas situações, por exemplo, os metais contidos nas cinzas ou nas lamas podem ser recuperados e reutilizados como matéria-prima para outros processos.

Todos os resíduos sólidos gerados em unidades de incineração devem sempre ser caracterizados e classificados quanto à sua periculosidade, conforme a norma NBR 10004¹³, antes de sua disposição final ou reaproveitamento. Cuidados adicionais devem ser tomados em unidades de incineração de RSM com recuperação de energia, as quais normalmente utilizam leitos de carvão ativado ou pulverizado para o abatimento das emissões de compostos orgânicos não queimados e metais voláteis. Estes leitos retêm metais, dioxinas e furanos, eventualmente formados, e, desta forma, devem ser classificados como resíduos perigosos e segregados, dispostos ou tratados de forma adequada.

Os processos de formação de cinzas em incineradores são os seguintes:

a) Cinzas volantes ou material particulado

O material particulado, em geral, é formado por compostos orgânicos sólidos não queimados e compostos inorgânicos. Tanto a parte orgânica como a inorgânica pode ser originada a partir de arraste de finos da grelha ou de condensação ou polimerização de vapores liberados na grelha.

Quando se emprega boa prática de combustão, o arraste de fração orgânica é mínimo, pois a maior parte é queimada na região acima da grelha e convertida a CO_2 e água. Quando isto não ocorre, os componentes orgânicos voláteis liberados na grelha podem se polimerizar e formar partículas microscópicas, constituídas principalmente de carbono, denominadas fuligem. Estas partículas, uma vez não consumidas na região de altas temperaturas, passam incólumes pelo incinerador, saindo com os gases de combustão. Por serem muito finas, não são coletadas em sistemas de despoejamento primários, como ciclones e chicanas.

Para a retenção deste material utiliza-se normalmente filtros eletrostáticos e filtros de tecidos. Partículas com elevado teor de carbono e de dimensões maiores também podem estar presentes nos gases de combustão, devido ao seu arraste pelo ar de combustão injetado sob a grelha. Parte deste material se deposita dentro do próprio incinerador e o restante sai com os gases de combustão, para o sistema de limpeza de gases.

O arraste de material inorgânico depende da composição das cinzas do resíduo sólido (quantidades de compostos inorgânicos voláteis, teor de cloro, etc.) e da quantidade de ar injetado sob a grelha. Esta quantidade tem de ser muito bem controlada, pois vazões elevadas arrastam muito material e vazões baixas podem gerar cinzas de fundo com teor de carbono muito alto, reduzindo a eficiência do incinerador e provocando o superaquecimento da grelha.

b) Cinzas de fundo ou de grelha

As cinzas de fundo ou de grelha são compostas principalmente por materiais inorgânicos presentes nos resíduos, como metais e vidros fundidos, e de matéria orgânica não queimada.

Em um incinerador bem projetado e operado, a maior parte destas cinzas de fundo fica depositada sobre a grelha e uma parcela muito pequena pode ser arrastada junto com o ar de combustão insuflado sob a grelha.

c) Lamas

As lamas geradas em uma unidade de incineração são provenientes dos sistemas de tratamento de efluentes líquidos do sistema de limpeza dos gases de combustão. Elas podem conter matéria orgânica, halogêneos e metais, etc.

• Poluentes no estado gasoso

a) Compostos clorados

O cloro presente em resíduos sólidos pode estar na forma inorgânica, por exemplo, sal de cozinha, ou orgânica, em plásticos do tipo PVC.

Os plásticos contendo cloro, ao serem incinerados, liberam ácido clorídrico (HCl) e cloro (Cl_2), além de gás carbônico e água. O Cl_2 e o HCl são extremamente corrosivos nas temperaturas em que são formados, e podem provocar ataques sérios aos refratários e superfícies metálicas no interior do incinerador. Estes compostos clorados são um dos principais fatores limitantes ao aumento de eficiência de geração elétrica em usinas de incineração de RSM.

A eficiência de geração (quantidade de energia elétrica gerada dividida pela quantidade de energia contida no RSM) normalmente tem variado de 18 a 22%, enquanto em usinas termoelétricas convencionais a vapor, onde o vapor é aquecido em torno de 550°C , esta eficiência tem ficado em 30%. A ação corrosiva destes gases aumenta muito com a temperatura, o que tem limitado o superaquecimento do vapor a temperaturas pouco acima de 400°C , resultando na baixa eficiência do ciclo de geração de potência de usina de incineração.

Estes compostos clorados, além disto, na região dos trocadores de calor (faixa de temperatura de 200 a 600°C), ao entrar em contato com compostos orgânicos não queimados e na presença de metais catalisadores como o cobre, podem levar à formação de dioxinas e furanos. Na ausência de um ou mais destes componentes, a taxa de formação destes compostos é bastante reduzida.

Na região de baixas temperaturas e de recuperação de calor, o HCl pode formar soluções aquosas ácidas, que se depositam na superfície de trocadores de calor, provocando corrosão intensa destes equipamentos. O procedimento normalmente adotado é o de limitar o resfriamento dos gases de combustão, evitando a condensação de filmes líquidos ácidos na superfície dos trocadores. Este procedimento, no entanto, diminui a recuperação de calor dos gases de combustão, reduzindo a eficiência da usina de incineração.

b) Metais pesados

Um outro efeito causado pela presença de compostos clorados em resíduos sólidos, incluindo o sal de cozinha, está na elevação do arraste de metais com os gases de combustão. Estes compostos formam sais metálicos clorados que são muito voláteis, e são transportados na fase vapor da região de combustão para as regiões mais frias, onde se condensam, formando material particulado na forma de cinza volante ou incrustações nas paredes mais frias do incinerador. Parcela dos metais como ferro, chumbo, zinco, cobre, etc., que deveria ficar retida nas cinzas de fundo da grelha, na forma de óxidos, sai com os gases na forma de sais clorados a partir deste mecanismo. A quantidade de material metálico arrastado aumenta com o teor de compostos clorados presente no resíduo sólido¹⁴.

Resíduos com presença de metais pesados voláteis, como o cádmio e o mercúrio, liberam estes metais na fase vapor no interior do incinerador, independentemente da presença de componentes clorados. Estes elementos normalmente fazem parte de materiais como baterias e pilhas elétricas, pigmentos, tintas, lâmpadas fluorescentes, fungicidas, termômetros, etc.

c) Gases sulfurosos

O enxofre (S) contido no resíduo sólido na forma orgânica, normalmente presente em artefatos de borracha, se converte a dióxido e trióxido de enxofre (SO₂ e SO₃) na câmara de combustão. Estes gases, em regiões de baixa temperatura, podem formar soluções ácidas com água, de forma semelhante ao que ocorre com o HCl, e provocar corrosão em superfícies metálicas no interior do incinerador. Estes gases, uma

vez na atmosfera, contribuem para a formação de chuva ácida. O enxofre presente no resíduo sólido na forma inorgânica, por exemplo, gesso, sai quase que integralmente com as cinzas de fundo.

d) Monóxido de carbono

O monóxido de carbono (CO) se forma a partir da combustão incompleta de compostos orgânicos. Esta situação ocorre quando: há falta de ar de combustão ou a mistura dos produtos combustíveis com o ar de combustão na região sobre a grelha não é adequada (pouca turbulência); a temperatura dos gases nesta região é baixa (menor que 800°C).

No incinerador de grelha basculante, quando há a ocorrência de qualquer uma destas situações, observa-se a formação de níveis elevados de CO. Este gás, uma vez formado e não convertido a CO₂ ao longo da caldeira, não pode ser removido da corrente gasosa pelos sistemas de limpeza de gases existentes, sendo emitido com os gases de combustão na chaminé. Daí a importância de se proceder as boas práticas de combustão que, uma vez aplicadas, tendem a manter a emissão de CO dentro dos níveis estabelecidos pelas legislações ambientais.

Este gás também serve como indicativo do nível de formação de outros poluentes no interior do incinerador, como material particulado, compostos orgânicos voláteis e dioxinas e furanos. Teores elevados deste gás, na chaminé, é indicativo de má combustão de compostos orgânicos na região situada acima da grelha. Esta situação leva à formação de fuligem (partículas microscópicas de carbono não queimado) e compostos voláteis orgânicos não queimados que, como citado anteriormente, na presença de compostos clorados, podem levar à formação de dioxinas e furanos.

e) Óxidos de nitrogênio (NO e NO₂)

Estes óxidos, que recebem a denominação geral de NO_x, são gases que têm participação significativa na poluição atmosférica, sendo um dos principais responsáveis pela formação de névoas escuras (*smog*) observadas no período de inverno sobre as grandes metrópoles, durante as inversões térmicas, e pela formação de ozônio ao nível do solo.

Estes compostos são formados principalmente por processos de combustão e a sua emissão aumenta quanto maior o teor de nitrogênio presente no combustível. Outro fator que interfere na formação destes gases é a temperatura de combustão. Temperaturas elevadas, acima de 1000°C, tendem a favorecer a sua formação. Desta forma, uma condição para a minimização de formação destes gases no interior de equipamentos de combustão, baixas temperaturas, é contraditória com a de outros poluentes, como o CO, voláteis orgânicos não queimados e material particulado. Para estes últimos, em geral, quanto maior a temperatura, menores são as taxas de emissão.

Os teores de nitrogênio presentes no resíduo sólido geralmente são baixos e a taxa de formação de NO_x, em incineradores, não tem sido maior que as observadas em equipamentos de combustão de combustíveis fósseis. No entanto, os limites de emissão destes gases, nos países mais desenvolvidos, têm se tornado cada vez mais restritivos, obrigando a introdução de sistemas de destruição destes gases, um deles conhecido como redução seletiva não catalítica.

Neste sistema injeta-se uma pequena quantidade de amônia (NH₃) na corrente gasosa, antes do sistema de limpeza de gases, convertendo o NO_x em nitrogênio e água. Sistemas deste tipo apresentam eficiência de redução na faixa de 40%⁷. No Brasil, equipamentos de combustão em geral, incluindo incineradores de resíduo sólido, não têm um limite de emissão estabelecido para estes gases.

f) *Dioxinas e furanos*

Dioxinas e furanos é a nomenclatura usual para descrever uma família de 210 compostos aromáticos clorados constituídos por dois anéis benzênicos unidos por átomos de oxigênio. Destes, 75 compostos são as chamadas dioxinas e 135, furanos. Eles possuem propriedades e efeitos à saúde humana semelhantes, porém com intensidades diferentes.

Basicamente, existem três mecanismos pelos quais as dioxinas e os furanos podem ser formados durante o processo de incineração, sendo eles:

1. As dioxinas e os furanos já estão presentes no resíduo e o processo de incineração, por problemas operacionais, como baixas temperaturas (menores que 800°C), não os destroem.

2. Eles são formados durante o processo de incineração devido à presença, em resíduos sólidos, de compostos que são precursores de dioxinas e furanos, tais como ascarel, PVC, etc.
3. Eles podem ser formados a partir das reações entre compostos contendo cloro, carbono e oxigênio no interior do incinerador. Estas reações são favorecidas pela presença de alguns metais e normalmente ocorrem em temperaturas entre 200 e 600°C.

Vários estudos têm sido conduzidos com o objetivo de clarear os mecanismos de formação das dioxinas e furanos. Alguns deles têm demonstrado que as dioxinas e os furanos podem deixar o processo de incineração com as cinzas volantes e nos gases de chaminé. As quantidades de dioxinas e furanos formadas em processo de incineração, em geral, são mínimas, da ordem de algumas partes por bilhão (ppb). Porém, dada a alta toxicidade destes compostos, sua emissão, mesmo que em concentrações abaixo dos níveis legais, deve ser evitada. A Tabela 3 apresenta os padrões de emissão de poluentes, entre os quais, dioxinas e furanos, exigidos pela Companhia de Tecnologia e Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) para incineradores de RSS.

Como pode ser visto na Tabela 3, os padrões de emissão para dioxinas e furanos são extremamente baixos, e para a sua determinação são utilizadas metodologias e instrumentação extremamente sofisticadas.

2.1.5.4 Efeitos dos poluentes nos seres humanos

Atualmente tem-se discutido amplamente a questão do potencial de risco que o processo de incineração pode causar à saúde humana e ao meio ambiente, principalmente no que se refere às emissões atmosféricas e às cinzas. Tendo em vista os efeitos e os danos que as emissões de metais e dioxinas podem causar à saúde humana, as emissões destes compostos têm recebido especial atenção.

Neste Manual serão tratados somente os efeitos causados por alguns compostos gerados no processo de incineração de resíduos sólidos sobre o ser humano.

Tabela 3 – Padrões de emissão de poluentes para incineradores de RSS no Estado de São Paulo

Poluente	Capacidade do Incinerador		
	< 200 kg/dia	200 a 1.500 kg/dia	> 1.500 kg/dia
Material particulado	120 mg/Nm ³	70 mg/Nm ³	50 mg/Nm ³
SO _x (medido como SO ₂)	250 mg/Nm ³	250 mg/Nm ³	250 mg/Nm ³
NO _x (medido como NO)	400 mg/Nm ³	400 mg/Nm ³	400 mg/Nm ³
Ácido clorídrico	100 mg/Nm ³ e 1,8 kg/h	100 mg/Nm ³ e 1,8kg/h	70 mg/Nm ³
Ácido fluorídrico	5 mg/Nm ³	5 mg/Nm ³	5 mg/Nm ³
Inorgânicos Classe I	0,28 mg/Nm ³	0,28 mg/Nm ³	0,28 mg/Nm ³
Inorgânicos Classe II	1,4 mg/Nm ³	1,4 mg/Nm ³	1,4 mg/Nm ³
Inorgânicos Classe III	7 mg/Nm ³	7 mg/Nm ³	7 mg/Nm ³
CO	125 mg/Nm ³	125 mg/Nm ³	125 mg/Nm ³
Dioxinas e furanos	-	0,14 ng/Nm ³	0,14 ng/Nm ³

Fonte: LEMA¹⁵

Observações: - Concentração em base seca corrigida para 7% de oxigênio nos gases de exaustão, desde que não haja injeção de oxigênio puro.

- Classes I, II e III – ver Capítulo II – Origem e Composição do Lixo.

• Metais

Os principais efeitos adversos que os compostos metálicos podem causar à saúde humana, quando emitidos para a atmosfera acima de certos níveis ou dispostos de forma inadequada, se devem ao seu potencial cancerígeno e sua toxicidade. O Quadro 3 apresenta a relação dos metais potencialmente cancerígenos e os tóxicos não-cancerígenos.

Quadro 3 – Efeitos dos metais nos seres humanos

Elemento		Cancerígeno	Tóxico Não-Cancerígeno
Arsênio	(Ar)	Sim	-
Cádmio	(Cd)	Sim	-
Cromo	(Cr)	Sim	-
Berílio	(Be)	Sim	-
Antimônio	(Sb)	Não	Sim
Bário	(Ba)	Não	Sim
Chumbo	(Pb)	Não	Sim
Merúrio	(Hg)	Não	Sim
Prata	(Ag)	Não	Sim
Tálio	(Tl)	Não	Sim
Selênio	(Se)	Não	Sim
Níquel	(Ni)	Não	Sim

• Dioxinas e furanos

A principal via de contaminação do ser humano por estes compostos é pela ingestão de alimentos contaminados.

A contaminação dos alimentos pode ocorrer de várias formas, sendo a absorção das dioxinas e furanos pelas plantas a principal, que uma vez utilizadas como alimento introduzem os poluentes na cadeia alimentar.

No que se refere ao efeito das dioxinas e furanos sobre a saúde pública, vários estudos têm sido feitos em animais, com o objetivo de elucidar os seus efeitos toxicológicos, cancerígenos e reprodutivos; porém, apesar de alguns trabalhos publicados pela comunidade científica indicarem que os efeitos causados nos animais são altamente prejudiciais, pesquisas mais detalhadas continuam sendo realizadas com a finalidade de delimitar estes efeitos nos seres humanos.

Do ponto de vista da saúde pública, apesar das incertezas existentes sobre os efeitos destes compostos nos seres humanos e sua intensidade, deve-se assumir que tais compostos são altamente tóxicos e prejudiciais aos seres humanos.

• **Material particulado**

As partículas inaláveis, emitidas pelos processos de incineração, são as mais prejudiciais à saúde humana. Elas podem conter compostos, como material orgânico (fuligem), metais e ácidos, que podem estar na forma condensada ou adsorvidos na superfície das partículas sólidas.

A principal via de contaminação do ser humano ocorre pelo ar respirado. Os principais efeitos sobre a saúde humana são o aumento das doenças respiratórias e, dependendo dos compostos existentes no material particulado inspirado, o aumento na incidência de doenças cancerígenas.

• **Dióxido de enxofre (SO₂)**

Como no caso das emissões de material particulado, a principal via de contaminação do dióxido de enxofre ocorre pelo ar inalado. Ele pode causar diminuição na capacidade respiratória (broncorrestritor), além de produzir irritação no sistema respiratório.

As principais doenças causadas são as bronquites, a asma e as enfisemas.

• **Monóxido de carbono (CO)**

O monóxido de carbono é um gás incolor, inodoro e não-irritante. Ele é imperceptível pelo ser humano e a via de contaminação é a respiratória. Devido à sua grande afinidade com a hemoglobina do sangue, ele causa diminuição na capacidade de transporte de oxigênio pelo sangue. Esta diminuição está diretamente relacionada com a concentração de monóxido de carbono no ar aspirado e, dependendo desta concentração, os efeitos causados no ser humano podem ir desde a diminuição dos seus reflexos até o óbito por asfixia.

• **Óxidos de nitrogênio (NO_x)**

A principal via de contaminação do ser humano pelos óxidos de nitrogênio é a respiratória e podem causar irritações nos pulmões, diminuição na capacidade imunológica ou agravar o quadro de doenças, como bronquites, asma e enfisemas pulmonares.

O Quadro 4 apresenta um resumo dos principais efeitos adversos que os poluentes citados acima causam nos seres humanos.

Quadro 4 – Principais efeitos dos poluentes adversos à saúde humana

Poluente	Principais efeitos
Metais	Aumento na incidência de doenças cancerígenas e de intoxicação
Dioxinas e furanos	Aumento de doenças cancerígenas Má formação de fetos
Material particulado	Doenças respiratórias Agravamento de doenças respiratórias preexistentes
Dióxido de enxofre (SO ₂)	Doenças respiratórias Agravamento de doenças respiratórias preexistentes Irritação das vias respiratórias
Monóxido de carbono (CO)	Diminuição da taxa de transporte de oxigênio no sangue Diminuição dos reflexos Caso extremo pode levar a óbito
Óxidos de nitrogênio (NO _x)	Diminuição da resistência imunológica Irritação das vias respiratórias Agravamento de doenças respiratórias preexistentes

2.1.6 Estratégias de controle de poluição em processos de incineração

A formação e a geração dos poluentes no processo de incineração dependem fortemente das características do resíduo sólido alimentado ao incinerador e da eficiência do processo de combustão.

O procedimento de separação de materiais que podem gerar poluentes altamente tóxicos deve ser adotado como a primeira estratégia para controlar a geração ou formação de poluentes no processo. Este procedimento de separação de material alimentado consiste na remoção de materiais que podem gerar poluentes altamente tóxicos. Esta remoção de materiais pode ser conseguida pelo estabelecimento de procedimentos de separação na fonte geradora (coleta seletiva) ou na remoção destes materiais antes do resíduo sólido ser alimentado no incinerador.

Como exemplo desta estratégia, pode-se citar a remoção de pilhas e baterias elétricas, as quais podem conter em sua composição metais tóxicos, como níquel e cádmio, que podem ser recuperados

e reutilizados como matéria-prima em outros processos (ver Capítulo IV – Processamento do Lixo – Parte 8: Reciclagem de Outros Materiais).

Outro material que pode levar à formação de poluente, caso não sejam empregadas as boas práticas de combustão, são os plásticos com cloro em sua composição, que geram ácido clorídrico (HCl) e gás cloro (Cl₂) que, em conjunto com más práticas de combustão, podem levar à geração de dioxinas e furanos.

Uma segunda estratégia de controle é a utilização das boas práticas de combustão. A combustão completa de materiais combustíveis requer sistema de monitoração e controle de excesso do ar, do tempo de residência do material e dos gases na câmara de combustão, da temperatura de combustão, do treinamento de operadores, da manutenção dos equipamentos, etc.

A utilização de boas práticas de combustão leva à minimização na geração de alguns poluentes, principalmente dos provenientes da combustão incompleta do material orgânico existente nos resíduos sólidos, como fuligem, CO e compostos orgânicos voláteis. No entanto, a utilização de boas práticas de combustão não tem nenhum efeito sobre a formação de poluentes como HCl, SO₂, HF, sais de metais pesados, etc.

Outro resultado da utilização de boas práticas de combustão está na minimização da formação das dioxinas e dos furanos. Mantidas as condições operacionais do incinerador em determinados valo-

res de temperatura e concentração de oxigênio nos gases, os teores de compostos orgânicos voláteis nos gases são minimizados e a formação das dioxinas e dos furanos é fortemente inibida, mesmo com a presença de materiais que favoreçam a sua formação.

Uma terceira estratégia de controle de emissões, e que deve ser utilizada em conjunto com as anteriores, consiste na instalação de sistemas de limpeza de gases, os quais reduzem as emissões dos poluentes gerados a níveis que atendam, no mínimo, os padrões legais exigidos pelos órgãos ambientais.

Na Tabela 4 é apresentado um resumo dos efeitos das estratégias utilizadas para o controle de poluentes em processos de incineração.

2.1.6.1 Sistemas de limpeza de gases

Os sistemas de limpeza de gases ou de controle de poluição atmosférica utilizados em processo de incineração de resíduos sólidos são compostos principalmente por lavagem e filtragem.

Como exemplo de sistema de controle de poluição típico, pode-se citar um sistema onde os gases que saem da câmara de combustão do incinerador passam pelo lavador seco ou úmido para a retirada de gases ácidos como HCl, HF, SO₂ e, em seguida, por filtros de tecidos onde ficam retidas as partículas finas e só então são lançados para a atmosfera pela chaminé.

Além dos dispositivos de controle acima, atual-

Tabela 4 – Efeitos das estratégias nas taxas de emissão de poluentes

Poluente	Separação de Materiais	Boas Práticas de Combustão	Equipamentos de Limpeza			
			Lavador Venturi	Torres de lavagem	Filtros de tecidos	Lavadores secos
Partículas	X	X	X	C	X	
Metais	X		X	C	X	
Orgânicos		X	C	C		C
CO		X				
HCl	X		C	X		X
SO ₂	X		C	X		X
NO _x	X	X				

Fonte: USEPA¹⁰

C = apresenta algum tipo de controle, porém não é projetado especificamente para controle deste tipo de poluente.

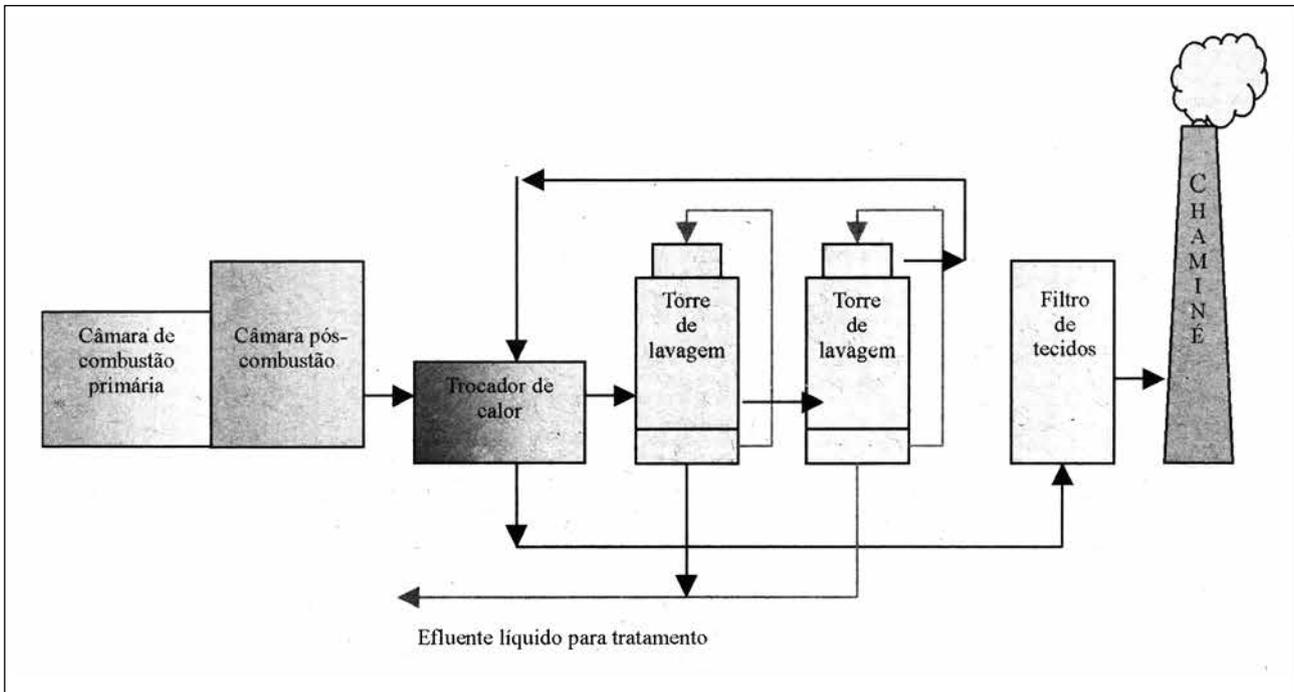


Figura 4 – Desenho esquemático de um sistema de controle de poluentes

mente as plantas de incineração com recuperação de energia utilizam um leito de carvão ativado ou pulverizado para a retenção das dioxinas e dos furanos, compostos orgânicos voláteis não queimados e metais pesados.

Um sistema de controle de poluição atmosférica para gases provenientes de processo de incineração pode ter várias configurações, dependendo do porte do incinerador. A Figura 4 apresenta um desenho esquemático de um sistema de controle para abatimento de poluentes em processos de incineração.

Neste sistema, os gases saem da câmara de pós-combustão passam por um trocador de calor e por duas torres de lavagem úmida, cujo objetivo é retirar os gases ácidos e material particulado. Em seguida, os gases retornam a um trocador de calor, cujo objetivo é vaporizar as gotículas de água remanescentes das torres de lavagem e só então seguem para os filtros de tecido.

A vaporização da água é feita utilizando-se a energia dos próprios gases efluentes da câmara de pós-combustão no trocador de calor, que eleva a

temperatura dos gases “limpos” acima da temperatura de vaporização da água. Esta vaporização é necessária para que não haja entupimento dos filtros de tecido por gotículas de água.

• Lavadores úmidos

Nos sistemas de incineração podem ser utilizados lavadores úmidos do tipo Venturi, torres de *sprays* e torres de enchimento. Estes equipamentos são extremamente versáteis no que se refere à coleta do material particulado e absorção de gases e vapores ácidos.

Os lavadores Venturi apresentam alta eficiência para controle das emissões de material particulado e gases ácidos, enquanto que as torres de enchimento são mais indicadas para o controle de gases ácidos. Os lavadores do tipo Venturi apresentam alto consumo de energia e altas perdas de carga na garganta do Venturi, decorrentes da elevada relação líquido/gás, que é o parâmetro operacional responsável pela eficiência de limpeza do gás. Quando os lavadores Venturi são utilizados também para retirada de gases

ácidos, são colocadas substâncias químicas na água de lavagem, como hidróxido de sódio, carbonato de sódio ou cal/calcário, etc. que reagem com os gases ácidos. Normalmente, o produto desta reação fica disperso na água e posteriormente é retirado na estação de tratamento de efluentes líquidos.

Os lavadores do tipo torre de *sprays* também são usados para o controle de material particulado e gases ácidos, mas apresentam baixa eficiência para partículas muito finas. Devido a isto, estes lavadores são indicados como pré-coletores de material particulado nos incineradores do tipo câmaras múltiplas, que geram quantidades significativas de partículas grandes.

O abatimento das emissões dos gases ácidos pelos lavadores tipo torre de *sprays* é feito da mesma forma que nos lavadores Venturi, empregando-se também soluções aquosas de hidróxido de sódio, carbonato de sódio, cal/calcário, etc.

É importante ressaltar que, apesar dos lavadores de gases serem altamente eficientes para o controle

de gases ácidos e material particulado, estes necessitam de grandes volumes de água, que demandam, por sua vez, algum tipo de tratamento antes de serem lançados nos corpos d'água.

• Lavadores secos e semiúmidos

Os lavadores a seco são utilizados para a remoção de gases ácidos (SO_2 , HCl, HF, etc.) e alguns vapores de compostos orgânicos e metais. A principal diferença com os lavadores úmidos está na quantidade de água empregada.

Normalmente, os lavadores a seco utilizam substâncias químicas denominadas sorbentes nas formas de pós finamente divididos ou de soluções aquosas, injetados na corrente gasosa na forma de *spray*. Estes compostos reagem com os gases ácidos, neutralizando-os. O produto da reação entre o sorbente e os gases ácidos é um sólido seco que, juntamente com o sorbente não-reagido, é captado nos dispositivos de controle de material particulado (filtros).

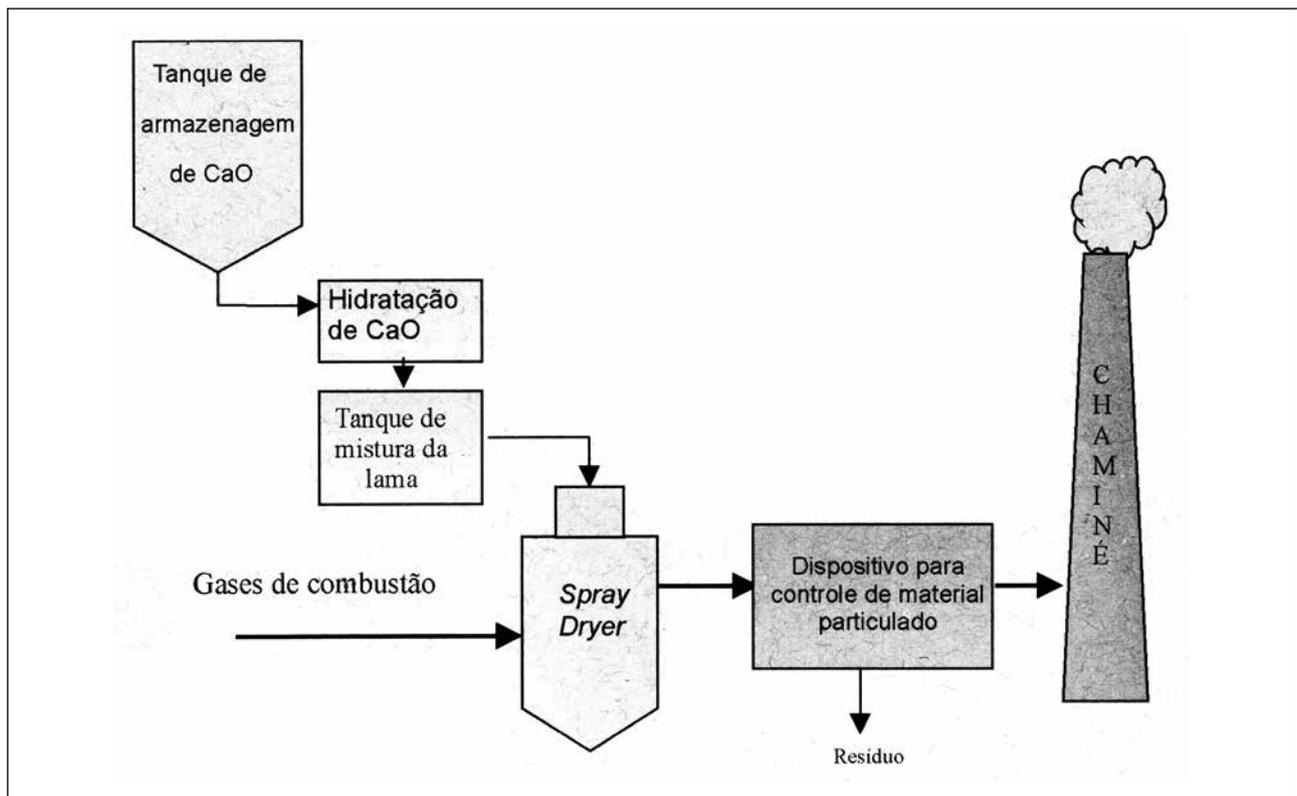


Figura 5 – Sistema de absorção de gases utilizando processo semiúmido

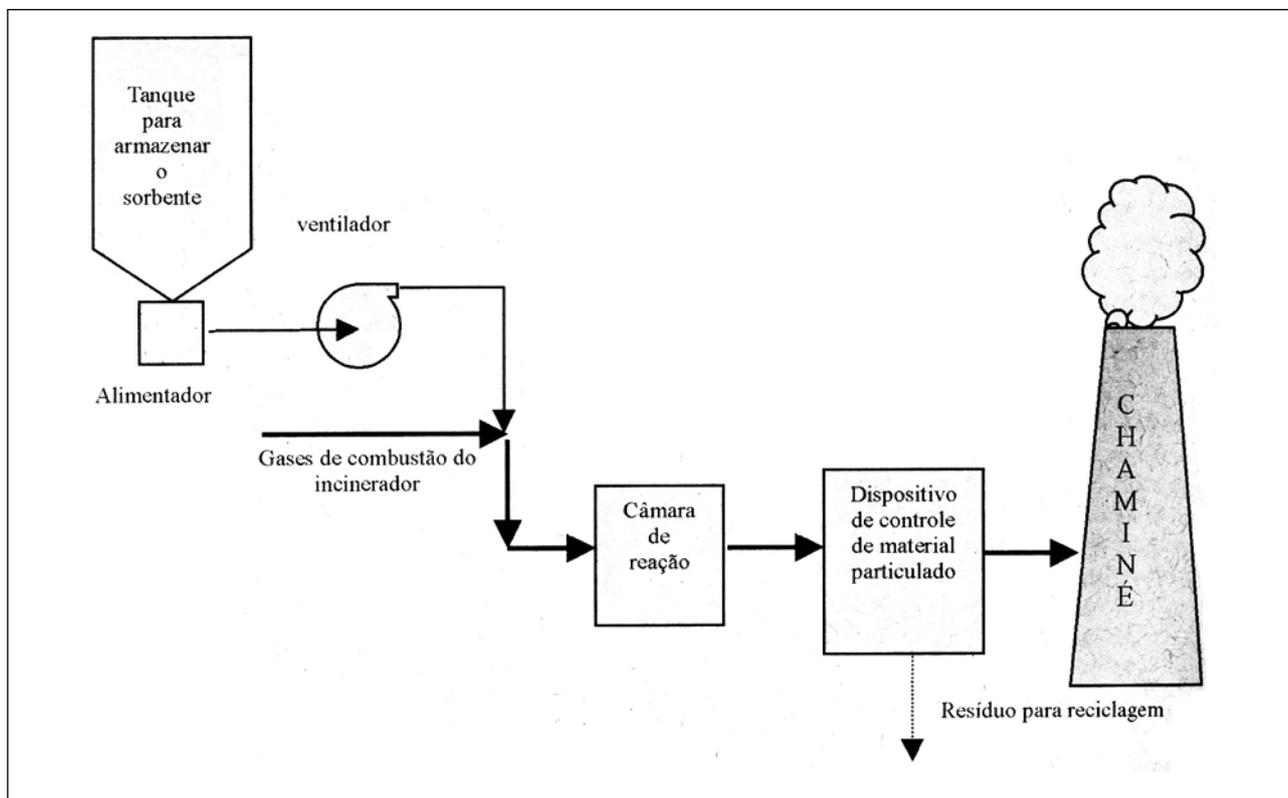


Figura 6 – Desenho esquemático de sistema de absorção a seco para gases ácidos

A Figura 5 mostra um fluxograma simplificado de um sistema de lavador semiúmido do tipo *spray dryer* para absorção de gases ácidos.

No sistema de absorção a seco, onde o sorbente é alimentado na forma de pó, as substâncias mais utilizadas para a absorção dos gases ácidos são hidróxido de cálcio ou bicarbonato de sódio.

O diâmetro das partículas do sorbente é extremamente importante na eficiência de remoção dos gases ácidos, pois o fenômeno de absorção ocorre principalmente na superfície das partículas.

Uma das vantagens de utilização de sistemas de absorção a seco ou semiúmido é que não há a geração de efluentes líquidos e existe a possibilidade de se reciclar (no mesmo processo ou em outro) o material particulado coletado nos dispositivos de controle, proporcionando, assim, aumento na utilização dos reagentes e redução dos custos operacionais.

A Figura 6 mostra um desenho esquemático de um sistema de absorção a seco para gases ácidos.

• **Filtros de tecidos**

Os sistemas de filtragem por filtros de tecidos são os sistemas mais utilizados para o controle das emissões de material particulado em processos industriais. A sua ampla utilização deve-se à sua elevada eficiência, inclusive para partículas muito pequenas, e à possibilidade de reutilização do material coletado.

Nos filtros de tecidos, o gás passa através do elemento filtrante em baixa velocidade onde ficam retidas as partículas. O material retido é removido do elemento filtrante por meio de sistemas mecânicos de vibração ou pela injeção periódica de ar comprimido.

Eles podem ser classificados conforme a forma física do elemento filtrante, como: filtro de mangas, tipo envelope, tipo cartucho e tipo plano, e conforme o tipo do dispositivo de limpeza utilizado: limpeza mecânica, jato pulsante e ar reverso.

Normalmente, os materiais de construção do elemento filtrante são algodão, polietileno, fibra de

vidro, nylon e poliéster. As características do gás definem o material a ser utilizado como elemento filtrante em função da sua resistência à temperatura, a ataques químicos, à abrasão e custos.

No caso de incineração, onde os gases de exaustão podem conter HCl ou outros gases ácidos, os quais podem condensar na forma de solução aquosa, o material do filtro também deve ser resistente ao ataque de soluções ácidas.

Uma vantagem adicional do uso de filtros de tecido está na possibilidade do material depositado na superfície do elemento filtrante atuar como um leito adicional de absorção de gases ácidos, aumentando a eficiência do sistema.

• **Filtros eletrostáticos**

Os filtros eletrostáticos são equipamentos utilizados para a captação de partículas sólidas e líquidas.

Neste tipo de equipamento, as partículas ou gotículas são carregadas eletricamente por meio de uma descarga elétrica de alta voltagem (efeito Corona) e captados em uma placa também carregada eletricamente (eletrodo).

Periodicamente, o material coletado no eletrodo é descarregado automaticamente por dispositivos de limpeza e coletado para reciclagem ou disposição final.

A eficiência de captação de poluentes por um filtro eletrostático pode ser superior a 99,95% e, desde que bem projetado e operado, não há limites mínimos quanto ao tamanho das partículas a serem coletadas.

Os filtros eletrostáticos também apresentam outras vantagens, como baixo custo operacional, fácil manutenção, operam com gases a altas temperaturas, vida útil longa, etc.

Como desvantagens, eles apresentam custo de investimento inicial alto, exigências de segurança, devido à alta voltagem ou presença de gases combustíveis, quedas na eficiência quando o processo sofre muitas variações operacionais. Além disso, alguns trabalhos científicos¹⁶ têm desaconselhado a utilização dos filtros eletrostáticos em unidade de incineração devido à possibilidade da formação de dioxinas e furanos no seu interior quando da passagem dos gases.

2.1.6.2 Monitoração e controle de processos de incineração

Para que a formação e emissão dos poluentes sejam minimizadas, é necessária, entre outras estratégias, a implantação de sistemas de monitoração e controle do processo de combustão e dos equipamentos de limpeza dos gases.

Tabela 5 – Parâmetros operacionais a serem monitorados em função da estratégia de controle considerada

Parâmetros	Boas Práticas de Combustão	Controle de Emissão de Poluentes
Temperatura dos gases na saída da segunda câmara de combustão.	X	
Concentração de oxigênio nos gases na saída da segunda câmara de combustão.	X	
Concentração de CO nos gases na saída da segunda câmara de combustão.	X	
Opacidade dos gases de combustão na chaminé.	X	
Pressão na primeira câmara de combustão.		X
Pressão na entrada e na saída nos dispositivos de lavagem dos gases (perda de carga do sistema).		X
Vazão do líquido de lavagem.		X
Temperatura na entrada dos filtros de tecido.		X
Pressão na entrada e na saída dos filtros de tecido.		X
pH do líquido de lavagem.		X

A monitoração de um processo tem como objetivo fornecer informações de como ele está se desenvolvendo, e é feita pela medição e acompanhamento de um ou mais parâmetros operacionais. Como exemplo de parâmetros de processo, pode-se citar a temperatura do gás na câmara de combustão, vazão de gás, pressão, concentração de um componente na corrente gasosa, etc.

Os valores obtidos durante a monitoração são utilizados para controlar o processo. Este controle pode ser feito de forma manual ou automática e tem a finalidade de ajustar os parâmetros operacionais dentro dos limites mais adequados de operação.

A Tabela 5 apresenta alguns parâmetros operacionais que devem ser monitorados do ponto de vista de boas práticas de combustão e de controle dos poluentes.

Na definição do tipo de monitoração e na escolha dos instrumentos que serão utilizados na unidade de incineração, deve-se levar em consideração os seguintes fatores:

- exigências legais para a definição de quais parâmetros monitorar;
- exigências legais quanto ao tipo de monitoração a ser utilizado (indicador com ou sem registro);
- quais os parâmetros mais importantes para o controle do processo independente de exigências legais;
- custo do investimento, operacional e de manutenção;
- mão-de-obra qualificada necessária.
- Temperatura dos gases de combustão

A monitoração da temperatura dos gases na saída das câmaras de combustão é uma indicação de que o processo está ou não atingindo a temperatura mínima necessária para a destruição de todos os compostos orgânicos. Indica também os instantes em que é necessário utilizar combustível auxiliar para que a temperatura se mantenha acima dos valores mínimos de operação.

Para a monitoração de temperatura normalmente são utilizados instrumentos do tipo termopares ou termômetros bimetálicos.

• **Concentração de oxigênio nos gases e combustão**

A concentração de oxigênio nos gases na saída da segunda câmara de combustão é monitorada com o objetivo de controlar a alimentação do ar de combustão no processo e, dependendo do porte da unidade de incineração, esta concentração também deve ser registrada de acordo com as exigências dos órgãos ambientais.

A monitoração da concentração de oxigênio pode ser feita por analisadores contínuos de gases, ou por sistemas descontínuos como “aparelho de Orsat” ou “Fyrite”, etc.

• **Pressão na câmara de combustão**

A pressão na câmara de combustão deve ser sempre inferior à pressão atmosférica. Ela é monitorada com o objetivo de detectar vazamentos dos gases da câmara para o meio ambiente, objetivando a proteção dos operadores contra a exposição a possíveis substâncias tóxicas e o controle de emissões de escape (emissões fugitivas).

A monitoração da pressão da câmara de combustão pode ser feita utilizando-se transmissores eletrônicos de pressão (transdutores de pressão) que medem continuamente o valor da pressão, possibilitando o seu registro ao longo do tempo, ou por meio de manômetros de coluna de líquidos, que são instrumentos do tipo indicador.

Do ponto de vista legal, os órgãos ambientais exigem a monitoração deste parâmetro independente do porte da instalação.

• **Concentração de monóxido de carbono (CO)**

A presença de monóxido de carbono nos gases de combustão em teores elevados é um indicativo de combustão incompleta de compostos orgânicos, que pode favorecer a formação de substâncias altamente tóxicas, como dioxinas e furanos.

A monitoração da concentração de CO, à semelhança do oxigênio, pode ser feita por analisadores contínuos ou descontínuos. Porém, devido aos limites de emissão exigidos pelos órgãos ambientais es-

tarem na faixa de partes por milhão (ppm), alguns analisadores descontínuos (aparelho de Orsat e Fyrite) não são indicados para a monitoração de CO.

• **Opacidade dos gases de combustão**

A monitoração da opacidade dos gases de combustão também é um indicativo da eficiência do processo de combustão ou, no caso de existir sistema de limpeza de gases, da eficiência destes.

Para a medição da opacidade são utilizados instrumentos conhecidos como opacímetros, cujas leituras estão relacionadas com a quantidade de material existente nos gases emitidos. Este tipo de instrumento é de custo elevado e a sua utilização requer cuidados especiais na sua instalação e manutenção, o que restringe a sua utilização.

Do ponto de vista legal, independente do porte das instalações, os órgãos ambientais não têm exigido ainda a monitoração deste parâmetro.

• **Pressão na entrada e na saída dos lavadores de gases**

A monitoração deste parâmetro não tem exigência legal por parte dos órgãos ambientais, porém é extremamente importante do ponto de vista operacional e está relacionada com a eficiência do sistema de limpeza de gases. Ela é também um indicativo de possíveis problemas operacionais e da necessidade de manutenção dos dispositivos de lavagem.

Para a monitoração deste parâmetro, são utilizados transmissores eletrônicos de pressão ou manômetros do tipo Bourdon.

• **Vazão do líquido de lavagem**

A monitoração da vazão do líquido de lavagem é importante do ponto de vista de operação e eficiência da unidade de limpeza de gases. No caso de lavadores Venturi, a sua eficiência está diretamente relacionada com a vazão de líquido de lavagem e a vazão de gases a serem limpos.

A vazão do líquido de lavagem pode ser medida por meio de vários instrumentos disponíveis no mer-

cado. Eles podem ser do tipo rotâmetros, placas de orifícios, hidrômetros, etc.

Como no caso da monitoração das pressões dos lavadores, a vazão do líquido de lavagem não tem, por parte dos órgãos ambientais, exigência legal, porém é um indicador de eficiência do sistema de limpeza e de eventuais problemas na unidade.

• **Temperatura na entrada do filtro de tecidos**

Em unidades que possuem sistema de filtragem de gases que utilizam tecidos como meio filtrante, a monitoração e o controle da temperatura dos gases na entrada do sistema é fundamental para a preservação do material do tecido, tanto contra temperaturas elevadas como contra temperaturas muito baixas, que podem favorecer a condensação de umidade e gases.

Este parâmetro é monitorado visando apenas as condições operacionais do equipamento, pois não há exigência legal por parte dos órgãos ambientais.

• **Pressão na entrada e saída dos filtros de tecido**

Este parâmetro operacional é monitorado com o objetivo de verificar entupimentos ou danos (furos) que possam ocorrer nas superfícies do tecido de filtragem.

Para a monitoração desta pressão são utilizados os mesmos tipos de instrumentos indicados para a pressão nos dispositivos de lavagem.

Ela é monitorada objetivando o controle operacional da unidade e não há exigência legal quanto à monitoração deste parâmetro.

2.1.7 Incineração e a legislação

Este Manual contempla o assunto legislação no seu Capítulo VII – Legislação e Licenciamento Ambiental. Deste modo, aqui serão apresentados somente os pontos relevantes da legislação relativa à incineração.

A Constituição promulgada em 5/10/88, em seu artigo 23, atribui competências comuns à União, Es-

tados, Distrito Federal e Municípios para proteger o meio ambiente e controlar a poluição entre outras matérias, cabendo à União estabelecer normas gerais e aos Estados, normas suplementares ou, ainda, elaborar normas inexistentes em nível Federal. No que se refere aos Municípios, estes poderão complementar normas Federais e Estaduais ou elaborar normas adicionais desde que a matéria seja de interesse local (Art. 30 da Constituição). Na existência de conflitos entre as normas Federais, Estaduais e Municipais, prevalecerá aquela que for a mais restritiva, não importando a instância governamental que a editou.

Para o caso da instalação de unidade de incineração de resíduos, a Resolução CONAMA 237/97, no seu artigo 3º, parágrafo único, atribui ao órgão ambiental competente a decisão sobre a exigência ou não do Estudo de Impacto Ambiental/Relatório de Impacto Ambiental (EIA/RIMA) ou outros estudos ambientais pertinentes. A definição pelo órgão ambiental da necessidade ou não da realização de um EIA/RIMA é fundamentada na análise do local onde o empreendimento será construído, do porte do empreendimento, da tecnologia que será utilizada, etc.

A dispensa ou a obrigatoriedade da apresentação de um EIA/RIMA de um empreendimento não sobriga o empreendedor da obtenção das licenças ambientais disciplinadas pela Lei Federal 6.938, de 31/8/81, e alterada pela Lei 7.804/89 e regulamentada pelo Decreto Federal 99.274/90 e pela Resolução CONAMA 237/97.

A Resolução CONAMA 237/97 institui a obrigatoriedade da obtenção de três licenças ambientais descritas a seguir.

• **Licença Prévia (LP)**

“Concedida na fase preliminar do planejamento de empreendimento ou atividade aprovando sua localização e concepção, atestando a viabilidade ambiental e estabelecendo requisitos básicos e condicionantes a serem atendidos nas próximas fases de sua implementação”.

• **Licença de Instalação (LI)**

“Autoriza a instalação do empreendimento ou

atividade de acordo com as especificações constantes dos planos, programas e projetos aprovados, incluindo as medidas de controle ambiental e demais condicionantes da qual constituem o motivo determinante”.

• **Licença de Operação (LO)**

“Autoriza a operação da atividade ou empreendimento, após a verificação do efetivo cumprimento do que consta das licenças anteriores, com as medidas de controle ambiental e condicionantes determinados para a operação”.

No caso de incineração, a licença de operação está condicionada à realização de um teste de queima. Neste teste, a operação do equipamento é monitorada por um período determinado e acompanhada por técnicos do órgão ambiental local para a verificação do atendimento às exigências legais ou às exigências impostas pelo órgão ambiental competente, que constem das licenças anteriores (LP e LI). Previamente ao teste de queima, o interessado deve preparar um plano do teste para ser apresentado ao órgão ambiental competente para a sua aprovação.

O plano do teste de queima é uma descrição detalhada do conjunto de operações que serão executadas durante o teste onde devem constar, por exemplo, o tipo de resíduo que será incinerado, as condições operacionais do equipamento durante o teste, quais e quantas coletas de amostras de poluentes e de resíduo serão realizadas, etc.

No Estado de São Paulo, a Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB) possui uma instrução normativa, nº E 15011 de fevereiro de 1997¹⁷, que fixa as condições mínimas exigíveis para a aceitação de um sistema de incineração de RSS. Esta instrução normativa auxilia na elaboração do plano de queima para este tipo de resíduo. Ainda no Estado de São Paulo, a Resolução de Diretoria da CETESB nº 007/97/P, de 6/2/97¹⁸, fixa padrões de emissão para unidades de incineração de RSS.

Para o caso de incineração de resíduos perigosos, a norma NBR 11175¹⁹ fixa as condições exigíveis de desempenho do incinerador. Esta norma exclui os resíduos classificados como perigosos devido à patogenicidade e inflamabilidade.

3 TRATAMENTO TÉRMICO A BAIXA TEMPERATURA

Os tratamentos térmicos a baixa temperatura, até 120°C, têm sido empregados principalmente para processos de desinfecção de RSS, transformando-os em resíduos não perigosos, tipo Classe II (ver Capítulo II – Origem e Composição do Lixo), passíveis de disposição em condições semelhantes aos RSM. Nestes processos, os resíduos sofrem apenas alterações físicas e biológicas, podendo-se obter reduções volumétricas de até 80%. Outra vantagem destes processos é a não-geração de compostos tóxicos e corrosivos como na incineração, prescindindo de sistemas de limpeza de gases tão eficientes quanto os de sistemas de incineração.

Dentre os processos de tratamento térmico a baixa temperatura, pode-se destacar o uso de microondas, de rádio de baixa frequência e autoclaves.

3.1 Uso de Microondas e de Ondas de Rádio de Baixa Frequência

Nestes processos, os RSS, antes da etapa de aquecimento, passam por um processo de picagem para redução de dimensão e de volume e são umedecidos previamente até cerca de 10% em massa. As ondas eletromagnéticas, quer sejam microondas ou de rádio de baixa frequência, aquecem as moléculas de água, que, por sua vez, aquecem toda a massa de resíduos a temperaturas em torno de 100°C por um tempo determinado, suficiente para desinfetar o RSS. Estas unidades são muito compactas, e todos os gases e ar que entram em contato com os resíduos, desde o pátio de recepção, passam por processos de filtragem para eliminação de organismos patogênicos antes de serem descarregados na atmosfera. O nível de automação é grande, minimizando o contato de operadores com os resíduos.

O custo de disposição de RSS via estes processos não pode ser levantado, mas por se utilizar de energia elétrica como meio de aquecimento, pode-se inferir que o custo operacional seja elevado. O custo de investimento tem ficado em torno de US\$ 100 mil/t/dia de RSS.

Existem quatro unidades de desinfecção a microondas em operação no Brasil, com capacidades va-

riando de 100 a 250 kg/h²⁰. Na cidade de São Paulo (SP), no final do ano de 1999, entraram em operação duas unidades de desinfecção de RSS a ondas de rádio de baixa frequência, com capacidade de 50 t/dia cada²¹.

3.2 Esterilização a Vapor em Autoclaves

É um método de tratamento também amplamente utilizado para descontaminação de resíduos microbiológicos e de laboratórios antes da disposição final. Como é um processo que, para ser eficiente, deve permitir o aquecimento por igual de toda a massa a ser esterilizada, torna-se impróprio para o tratamento de grandes volumes de resíduos. O processo é descontínuo, com pressões elevadas, e exige o emprego de tecnologia razoavelmente sofisticada, devendo ser operada por pessoal treinado. O sistema de aquecimento pode ser elétrico ou a vapor, sendo o custo operacional maior no primeiro caso.

3.3 Outras Formas de Esterilização de RSS

Existem outros processos de desinfecção de RSS, cujos agentes não são térmicos como a desinfecção química, em que se utiliza uma solução química desinfetante (hipoclorito de sódio), a esterilização por gases (óxido de etileno), que por apresentar riscos elevados, não é muito empregada, e por radiações ionizantes (raio gama e ultravioleta). O raio gama é muito empregado na esterilização de alimentos e o ultravioleta, no tratamento de águas residuais.

4 ORIENTAÇÕES GERAIS SOBRE OS PROCESSOS DE TRATAMENTO TÉRMICO DE RESÍDUOS

4.1 Tratamento Térmico de RSM

Diversos processos de tratamento térmico de RSM têm surgido nos últimos anos, envolvendo a aplicação de incineração, plasma, pirólise e gaseificação. Destes, somente a incineração se encontra disponível em escala comercial. Os demais processos ainda se encontram em fase experimental.

Os custos de disposição em aterros sanitários tendem a se elevar com o tempo, principalmente nas grandes metrópoles brasileiras, o que provavel-

mente tornará a incineração com geração elétrica ou vapor d'água em unidades de grande porte economicamente mais atraente que o aterro sanitário nestes locais. Mundialmente, já se observa uma forte tendência neste sentido.

Outro fator relevante é o quadro atual de geração de energia elétrica no país, com perspectiva de falta de fornecimento provocada pela interrupção de investimento governamental no setor. A instalação de incineradores com geração de energia elétrica ajudaria a amenizar o quadro apresentado. No caso de geração de vapor d'água, a incineração de resíduos reduziria diretamente o consumo de derivados de petróleo, item ainda significativo na pauta de importações, melhorando o balanço de pagamentos do país.

Com relação às emissões de poluentes em unidades de incineração, a implantação de sistemas de controle de emissão mais eficientes e o aumento da compreensão de como estes poluentes se formam no interior dos incineradores reduziram significativamente os riscos de contaminação do meio ambiente, a ponto das emissões de unidades mais recentes estarem atingindo níveis de emissão menores do que unidades de combustão empregando combustíveis convencionais.

Ainda no plano ambiental, partindo do pressuposto que as novas unidades de incineração tenham incorporado no seu projeto sistemas de limpeza de gases eficientes, estas tendem a amenizar o problema do aquecimento global, conhecido como efeito estufa, uma vez que boa parte da fração orgânica do RSM, constituído principalmente por restos de alimentos, papéis e restos de plantas, são renováveis, não contribuindo para o aumento da concentração de CO₂ na atmosfera. Os plásticos, por serem derivados de combustíveis fósseis, continuarão contribuindo para este aumento.

A implantação de incineradores com geração de energia elétrica nos EUA teve um grande avanço na década de 80 graças à adoção de política de subsídio ao setor, que terminou em 1986 e que possibilitou a participação da iniciativa privada na exploração deste mercado. Atualmente, somente nos EUA, existem centenas de unidades de incineração de RSM gerando energia elétrica (grande parte propriedade privada), a maioria concentrada em regiões com pro-

blemas de disponibilidade de áreas adequadas para aterro sanitário e que estão localizadas majoritariamente na costa leste americana. Política semelhante poderia ser adotada no Brasil para incentivar a implantação de incineradores em grandes metrópoles com problemas de disposição em aterros sanitários.

Em municípios com pequena geração de RSM, aparentemente, a disposição em aterros ainda é a opção economicamente mais interessante, uma vez que o custo de incineração aumenta com a redução da capacidade do incinerador. Em certos casos, porém, como a de municípios limítrofes com elevada densidade populacional, o estabelecimento de consórcio para a construção e operação conjunta de uma unidade de incineração de grande porte pode se tornar mais interessante que a disposição em aterros sanitários.

4.2 Tratamento Térmico de RSS

Uma forma imediata de minimizar os problemas de disposição de RSS é a implantação de programas de gerenciamento nas unidades geradoras. Parcela significativa deste material é constituída por resíduos gerados em setores administrativos, de apoio, etc., que não apresentam patogenicidade e que poderiam ser dispostos como resíduo inerte, reduzindo significativamente a quantidade de RSS gerado e os custos de disposição.

Devido ao RSS apresentar teores mais elevados de metais pesados e produtos clorados do que o RSM, a geração de poluentes em equipamentos de incineração também é maior. Por isto, estas unidades devem contar com um sistema eficiente de controle de emissão de poluentes, o que torna o custo de disposição via incineração, em geral, maior do que o custo via aterros sanitários ou valas sépticas, mesmo quando há recuperação de energia.

O custo de incineração cai com a elevação da capacidade do incinerador, o que pode tornar interessante o estabelecimento de consórcio entre municípios ou mesmo hospitais próximos para a construção e operação conjunta de uma unidade de porte maior, com recuperação de energia na forma de vapor d'água ou água quente. Este modo de operação também diminuiria a necessidade de mão-de-obra, que, por ser qualificada, é de difícil contratação.

Outras formas de tratamento do RSS têm surgido, principalmente a baixas temperaturas, que eliminam o problema de patogenicidade destes resíduos, reduzindo simultaneamente o seu volume. São equipamentos compactos, fáceis de operar, mas apresentam custos de investimento e operacionais elevados.

Nas localidades que têm incineradores com sistema eficiente de limpeza de gases, a tendência tem sido a incineração conjunta de RSS com RSM, o que

tem reduzido significativamente o seu custo de disposição. Como o PCI do RSS é maior do que o PCI do RSM, a quantidade total de resíduo incinerado tem de ser diminuída, uma vez que a potência alimentada ao incinerador tem de ser mantida constante. Se esta regra não é obedecida, observa-se um desgaste acelerado dos componentes internos do incinerador. Em unidades de incineração que não disponham de sistemas de limpeza eficientes, não se aconselha esta substituição, uma vez que a emissão de poluentes pode aumentar significativamente.

BIBLIOGRAFIA

1. CEMPRE, 2007. *CEMPRE Informa*, n.92. Mar/abr.
2. HISTÓRICO dos incineradores no Brasil. 1999. <http://www.prodam.sp.gov.br/limpurb/probsol/inci_hist.htm> (26 nov.).
3. ORTH, M.H.A., MOTTA, F.S. 1998. Caracterização gravimétrica e físico-química dos resíduos domiciliares no município de São Paulo, realizada em maio de 1998. *Limpeza Pública*, v.48, ago. (Associação Brasileira de Limpeza Pública).
4. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABTN. 1987. *Amostragem de resíduos – Procedimento; NBR 10007*. São Paulo. 25p.
5. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABTN. 1993. *Resíduos de serviços de saúde – Terminologia; NBR 12807*. Rio de Janeiro. 3p.
6. OROFINO, F.V.G. 1996. *Aplicação de um sistema de suporte multicritério – Saaty for Windows – na gestão dos resíduos sólidos de saúde – Caso do Hospital Celso Ramos*. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Catarina.
7. STEAM, its generation and use. 1992. 40.ed. Barbeton, Ohio : The Babcock & Wilcox Company.
8. CATÁLOGO de incineradores. [s.d.]. Munich : Martin GMBH für Umwelt- und Energietechnik.
8. GREENHOUSE Gas Technology Information Exchange. 1995. *Clean energy from municipal solid waste: a vital bioenergy technology for the 21st century*. Harvell, United Kingdom : Bioenergy Agreement Task XIV, United Kingdom Department of Trade and Industry/ETSU.
9. BACKGROUND Information and Baseline Data. 1999. Energy Information Administration. Washington : U.S. Department of Energy. <<http://www.eia.doe.gov/cneaf/solar.renewables/renewable.energy.annual/bac/tablecon.ht>> (11 abr.).
10. USEPA. 1990. *Handbook: operation and maintenance of hospital medical waste incinerators*. Washington : United States. Environmental Protection Agency. (EPA/625/6-89/024).
11. TIERNAN, R., CHATTERJEE, A. [s.d.]. *Waste-to-energy with co-combustion of biomedical waste and co-combustion of hazardous waste*.
12. ISHIKAWA, R., BUEKENS, A., HUANG, H., WATANABE, K.; 1997. Influence of combustion on dioxin in an industrial-scale fluidized-bed incinerator: experimental study and statistical modelling. *Chemosphere*, v.35, n.3, p.465-477.
13. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABTN. 1987. *Resíduos sólidos – Classificação; NBR 10004*. São Paulo, 63p.
14. WANG, K.S., CHIANG, K.Y., SUN, S.L.C.T.C. 1998. Heavy metal partitioning and chloride influence in MSW incineration. In: AIR & WASTE MANAGEMENT ASSOCIATION'S 91ST ANNUAL MEETING & EXHIBITION, 1998, San Diego, California.
15. LEMA. 1999a. *Legislação de Meio Ambiente Ltda. Legislação Estadual de São Paulo*. São Paulo, agosto.
16. BULLEY, M. 1998. Meeting the USEPA requirement for medical waste incinerators. In: AIR & WASTE MANAGEMENT ASSOCIATION'S 91ST ANNUAL MEETING & EXHIBITION, 1998, San Diego, California.

CAPÍTULO IV
PROCESSAMENTO DO LIXO – PARTE 9 – TRATAMENTO TÉRMICO

17. CETESB. 1997. *Instrução normativa E115011/02/97 – Sistema de incineração de resíduos de serviço de saúde – Procedimento*. São Paulo : Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental.
18. CETESB. 1997b. *Resolução de Diretoria nº 007/97/P, de 06/02/97*. São Paulo : Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental.
19. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. 1999. *Incineração de resíduos sólidos perigosos – Padrões de desempenho; NBR 11175*. São Paulo. Sp.
20. ASEA Brown Boveri Ltda. [s.d.]. *Sistema Sanitec*. São Paulo. (Catálogo informativo).
21. CAVO. [s.d.]. *Unidade de tratamento de RSS*. São Paulo : Companhia Auxiliar de Viação e Obras. (Catálogo informativo).

CAPÍTULO IV

PROCESSAMENTO DO LIXO

PARTE 10 – RESÍDUOS DE SERVIÇOS DE SAÚDE

1 INTRODUÇÃO

Na literatura sobre resíduos dos serviços de saúde existem vários conceitos com conotações que, às vezes, se sobrepõem e precisam ser explicitados. O termo lixo hospitalar, por exemplo, geralmente aparece como sinônimo de resíduos de serviços de saúde, porém o primeiro termo tem uma conotação bem mais restrita que o segundo. Para a padronização da linguagem, o termo adotado neste texto será o de resíduos sólidos dos serviços de saúde, compreendendo todos os resíduos gerados nos diferentes estabelecimentos que prestam serviços de saúde, como hospitais, clínicas médicas e veterinárias, laboratórios de análises clínicas, farmácias, unidades básicas de saúde, etc.

Os demais conceitos relacionados ao assunto, em geral, relacionam-se a termos específicos ou variações de classificações. Dentre eles, merecem destaque os seguintes:

- *Resíduo hospitalar comum* – qualquer sólido ou líquido que não entrou em contato com pacientes doentes, não sendo considerado infectado ou contaminado.
- *Resíduo químico perigoso* – qualquer resíduo ou recipiente que contenha produto químico considerado um risco à saúde humana ou fisicamente perigoso. Estão enquadrados nessa característica: líquidos combustíveis, gases compressíveis, explosivos, inflamáveis, peróxidos orgânicos e reagentes oxidantes, pirofóricos, venenosos, corrosivos ou água reativa.
- *Resíduo radioativo* – resíduo a ser disposto, que contém, ou pode conter, material radioativo.
- *Resíduo biomédico* – são identificados como biomédicos, bioperigosos ou médicos controlados os seguintes tipos de resíduos:
 - restos animais: carcaças animais contaminadas, partes do corpo, vísceras e outros, nos quais os animais possam ter sido infectados ou foram expostos a agentes infectantes, capazes de causar doenças ao ser humano, durante a pesquisa e produção de vacinas, ou teste de produtos farmacêuticos;
 - resíduo biológico: sangue concentrado e líquidos provenientes da corrente sanguí-

nea, sudorese, secreções, produtos oriundos de aspiração e outros fluidos corpóreos, que contêm líquidos e não podem ou não são lançados na rede municipal de esgoto sanitário;

- resíduos de quimioterapia: qualquer material descartável que teve contato com agentes citotóxicos (agentes tóxicos para as células) e/ou agentes antineoplásicos (agentes que inibem ou impedem o crescimento e propagação de tumores e células malignas e cancerosas) durante a preparação, manuseio e administração de tais agentes. Esses resíduos incluem: máscaras, luvas, tubos IV (invasivos) vazios, sacos e sacolas plásticas vazias, tubos de ensaio e pequenos frascos vazios e outros materiais contaminados;
- culturas e estoques de agentes infectantes: material biológico incluindo culturas de laboratórios médicos e patológicos, culturas e estoques de agentes infectantes usados em pesquisas, resíduos de procedimentos biológicos, rejeitos de organismos vivos e vacinas atenuadas, discos de cultura e aparatos utilizados para transferir, inocular e misturar culturas;
- resíduos patológicos: todo tecido humano e partes do corpo reconhecidos, que são removidos durante cirurgias, procedimentos obstétricos ou laboratoriais e autópsias;
- resíduos pontiagudos: qualquer resíduo descartável que pode causar perfurações ou cortes. Estão incluídos: agulhas, seringas com agulhas, vidros quebrados, bisturis e outros.
- *Resíduo médico* – aquele oriundo de diagnósticos e tratamento de qualquer doença, bem como os da imunização de doenças infecciosas.
- *Equipamentos médicos descartados* – correspondem a materiais que não foram contaminados e nem tiveram contato com agentes infectantes, não incluindo materiais e proviões consumidas. Quando há qualquer tipo de contaminação, este resíduo é enquadrado na categoria de resíduos biomédicos.

2 CLASSIFICAÇÃO

A classificação que tem sido utilizada para os resíduos sólidos dos serviços de saúde é²⁴:

- *Infectantes*: referem-se aos resíduos perigosos gerados durante as diferentes etapas de atendimento de saúde (diagnóstico, tratamento, imunizações, pesquisas, etc.) que contêm agentes patogênicos. São classificados em seis tipos: biológico; sangue e hemoderivados; cirúrgico, anatomopatologia e exsudado; perfurante ou cortante; animal contaminado; assistência ao paciente. Esses resíduos representam diferentes níveis de perigo potencial, conforme o grau de exposição aos agentes infectantes que provocam doenças. Todos os resíduos de sala de isolamento, por exemplo, são considerados infectantes. Em geral, não podem ser dispostos em aterros sanitários ou em locais inadequados.
- *Especiais*: são aqueles gerados durante as atividades auxiliares dos estabelecimentos de saúde. Podem ser de três tipos: rejeito radioativo; resíduo farmacêutico; resíduo químico perigoso. Esses resíduos são classificados como perigosos à saúde humana em função das suas características, como: patogenicidade, corrosividade, reatividade, inflamabilidade, toxicidade, explosividade e radioatividade.

- *Comuns*: referem-se aos resíduos gerados pelas atividades administrativas, auxiliares e gerais que não correspondem a nenhuma das categorias anteriores. Não representam perigo para a saúde e suas características são similares às dos resíduos domésticos comuns, podendo, portanto, ser dispostos em aterros sanitários.

O Quadro 1 exemplifica os tipos de resíduos gerados em cada unidade de um hospital. Nela pode-se notar a grande diversificação de tipos de resíduos gerados e também a possibilidade de segregação de vários deles como resíduos não perigosos como, por exemplo, os resíduos gerados nos setores administrativos e áreas de apoio.

3 ASPECTOS RELEVANTES

Há muita polêmica em torno dos reais riscos imputados pelos resíduos dos serviços de saúde, principalmente os hospitalares. Enquanto a imprensa tem demonstrado inusitada preocupação com a sua destinação final e feito afirmações nem sempre fundamentadas em fatos, alguns autores afirmam que, usualmente, o lixo hospitalar é menos contaminado que o doméstico e que as espécies bacterianas presentes em ambos são semelhantes³.

Apesar de não existirem evidências conclusivas do papel do lixo hospitalar na transmissão de do-

Quadro 1 – Tipos de resíduos gerados por unidade de um hospital

Unidade Geradora	Tipo de Resíduo
Setor administrativo	Papéis, papelão, toners de impressora, copos plásticos, etc.
Área de apoio (limpeza, cozinha, manutenção)	Papelão, caixa, embalagem de produtos de limpeza, panos, papéis, latas, tambores, garrafas, resíduos de varrição, resíduos de podas, restos de alimentos, embalagens de produtos alimentícios, flores, lâmpadas, estopas, graxas, metais, latas de tinta, etc.
Laboratórios clínicos, necrotério	Papéis, sangue, tecidos humanos, órgãos, ossos, embalagens, vidrarias descartáveis, vidrarias de laboratório (lâminas, pipetas, placas de Petri, etc.).
Enfermaria	Ampolas, agulhas, seringas descartáveis, gazes, algodão, papéis, vidros de remédios, luvas cirúrgicas, etc.
Centro obstétrico	Roupas sujas, gazes, luvas cirúrgicas, seringas descartáveis, agulhas, lancetas descartáveis, máscaras, placenta, bolsas de sangue utilizadas, frascos descartáveis, materiais utilizados em lavagem intestinal, máscaras descartáveis, etc.
Centro cirúrgico e emergência	Roupas sujas, gazes, luvas cirúrgicas, seringas descartáveis, agulhas, bolsas de sangue utilizadas, frascos descartáveis, gesso, partes amputadas, tecido humano, conjuntos de drenagem, conjuntos de lavagem intestinal, etc.
Quartos de pacientes e salas de isolamento	Restos alimentares, roupas sujas, secreções, curativos, máscaras descartáveis, etc.

Fonte: OROFINO²

ença microbiana, estudiosos do assunto não negam que, em alguns casos, possa existir risco de transmissão de enfermidades relacionado a uma possível relação entre uma pequena parcela do lixo hospitalar, classificado como infectante, e doença microbiana. Isto deve-se à possibilidade desta parcela do lixo abrigar microorganismos patogênicos, tornando-a potencialmente perigosa no caso de contato direto pelo ser humano.

A presença temporária de elementos patógenos primários vivos não significa, necessariamente, que esses resíduos possam transmiti-los, uma vez que o acesso ao hospedeiro depende de uma via de transmissão e de uma porta de entrada, as quais ficam limitadas ao contato com lesões cutâneas³. Consequentemente, quando os resíduos cortantes ou perfurantes, especialmente aqueles que contenham sangue, são separados das demais frações do lixo hospitalar, a possibilidade de transmissão de agentes infectantes deste para o hospedeiro é praticamente nula.

Resíduos semelhantes aos domésticos também são gerados nas mais variadas unidades de serviços de saúde, sendo necessário separá-los entre perigosos e não perigosos, tendo como critérios o risco à saúde, os pontos de geração, os tipos de tratamento ou a disposição final que se deve dar a eles.

4 GERENCIAMENTO

Define-se gerenciamento como a escolha de alternativas em situações que envolvem múltiplas opções. O gerenciamento dos resíduos dos serviços de saúde é uma atividade complexa, pois envolve tanto o manejo interno dos resíduos pelos estabelecimentos geradores, como o externo, que é realizado pelos serviços de limpeza pública municipais. Esta atividade dá-se em função de escolhas de alternativas possíveis e/ou mais convenientes de coleta, acondicionamento, tratamento, transporte e disposição pelos estabelecimentos de saúde e/ou empresas responsáveis pela sua destinação final. Além dos aspectos de ordem técnico-operacional, outros elementos importantes que precisam ser observados neste gerenciamento são as responsabilidades dentro do sistema e as formas de controle e avaliação.

Em geral, os serviços municipais de limpeza só têm atribuição de coletar e dispor os resíduos sólidos

comuns, mas, em alguns municípios, efetuam também a coleta e a disposição dos resíduos dos serviços de saúde. No entanto, são poucos os municípios brasileiros nos quais observa-se a coleta diferenciada e um gerenciamento satisfatório desses resíduos, mesmo existindo documentos normativos propondo formas adequadas ao seu gerenciamento.

Na prática, verifica-se que não é fácil combinar ações internas de gerenciamento de resíduos dos estabelecimentos geradores com ações municipais de disposição final de modo a ter resultados efetivos. Mesmo dentre aqueles que apresentam coletas diferenciadas do resíduo, segundo tipos e categorias, observa-se que a maioria direciona os seus trabalhos apenas a hospitais e centros de saúde da rede pública.

Em função da inexistência de uma responsabilidade legal explícita dos municípios em relação ao gerenciamento dos resíduos sólidos de saúde e o desconhecimento dos riscos potenciais, associados principalmente aos infectantes e aos especiais, na grande maioria dos municípios brasileiros, esses resíduos não recebem nenhum tipo de tratamento especial. Em geral, são coletados juntamente com os resíduos domiciliares e têm o mesmo destino final. Mesmo aqueles que apresentam propostas e metodologias de coleta diferenciada, geralmente direcionam seus trabalhos apenas a hospitais e centros da rede pública⁴.

Quanto ao gerenciamento interno dos resíduos, este é de responsabilidade de cada estabelecimento gerador, sendo controlado pelo setor de saúde. Porém, este tipo de gerenciamento ainda não é prática comum em hospitais, clínicas particulares, farmácias, etc., mesmo sendo esta uma atividade de responsabilidade de cada estabelecimento gerador. Na maioria dos hospitais, escolas de medicina e outros produtores de resíduos de saúde, ainda não se observam definições precisas, classificação, quantificação e análise do potencial de contaminação dos resíduos gerados, resultando em um gerenciamento inadequado. Alguns hospitais têm organizado internamente a coleta, porém encontram dificuldades a partir da disposição para a coleta pública, que é efetuada pelos serviços de limpeza pública de forma não diferenciada, na maioria dos casos.

O gerenciamento correto dos resíduos sólidos significa não só controlar e diminuir os riscos, mas

também alcançar a minimização de resíduos desde o ponto de origem, que elevaria também a qualidade e a eficiência dos serviços que proporciona o estabelecimento de saúde. Um sistema de manejo organizado desses resíduos, tanto interna como externamente aos estabelecimentos de saúde, permitirá controlar e reduzir os riscos à saúde associados aos resíduos sólidos.

5 ASPECTOS TÉCNICO-OPERACIONAIS DE MANEJO, TRATAMENTO E DISPOSIÇÃO

Entende-se por manejo as operações de coleta, acondicionamento e armazenamento interno do lixo hospitalar, ou seja, o conjunto de operações que precedem o tratamento no próprio estabelecimento gerador ou o seu transporte para tratamento e/ou disposição final, no caso dessas atividades serem feitas por uma empresa privada ou pela prefeitura municipal.

Ênfase especial será dada às tecnologias de tratamento, empregadas internamente nos hospitais ou externamente, e às várias alternativas de disposição final existentes para os resíduos sólidos de saúde, dependendo da sua classificação. Embora existam tecnologias apropriadas para o manejo interno desses resíduos, estas não vêm sendo adotadas na maioria dos hospitais do País.

Um dos pré-requisitos ao manejo eficiente, econômico e seguro dos resíduos de saúde é a classificação adequada dos resíduos, segundo o seu grau de periculosidade, pelo próprio estabelecimento gerador, uma vez que tal procedimento facilitará a coleta, manuseio e acondicionamento interno do material^{5, 6}.

5.1 Coleta e Segregação na Origem

Segregação é uma das operações fundamentais para permitir o cumprimento dos objetivos de um sistema eficiente de manuseio de resíduos e consiste em separá-los ou selecioná-los apropriadamente segundo a classificação adotada. Essa operação deve ser realizada na fonte de geração, condicionada à prévia capacitação do pessoal de serviço⁷. A determinação de responsáveis e os procedimentos de separação na origem, a serem seguidos obrigatoriamente

por todos os funcionários, têm a vantagem de despertar a consciência das pessoas sobre a problemática dos resíduos sólidos⁸.

Consiste na coleta diferenciada dos resíduos nos centros cirúrgicos, unidades de internação, quartos de pacientes, setor administrativo e cozinha, e a separação rigorosa dos resíduos não infectados daqueles considerados infectantes ou químicos perigosos.

As vantagens de se preparar a segregação na origem são as seguintes:

- reduzir os riscos para a saúde e o meio ambiente, impedindo que os resíduos infectantes ou especiais, que geralmente são frações pequenas, contaminem os outros resíduos gerados no hospital;
- diminuir gastos, já que apenas terá tratamento especial uma fração e não todos os resíduos gerados;
- reciclar diretamente alguns resíduos que não requerem tratamento nem acondicionamentos prévios.

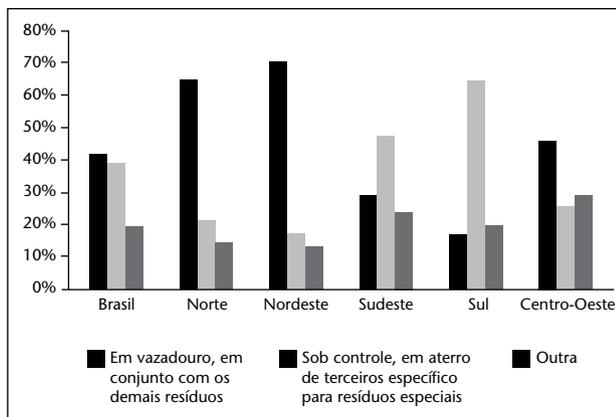
A coleta consiste em transferir os resíduos de forma segura e rápida das fontes de geração até o local destinado para seu armazenamento temporário. Dentro do estabelecimento, essa coleta compreende duas etapas: a interna e a externa.

A coleta interna é aquela realizada dentro da unidade, que consiste no recolhimento do lixo das lixeiras ou receptáculos, no fechamento do saco, quando for o caso, e no seu transporte até um ponto de acumulação ou sala de lixo apropriado.

A coleta externa consiste no recolhimento do lixo armazenado nos pontos de acumulação internos e o seu transporte até o local definido para armazenamento externo, a partir do qual os resíduos terão tratamento prévio ou serão diretamente apresentados à coleta municipal. Alguns resíduos perigosos ou que apresentam risco elevado demandam um serviço de coleta especial, que geralmente é feito pelas prefeituras municipais mediante a cobrança de taxas específicas. Dentre esses resíduos, destacam-se: lotes de medicamentos vencidos, produtos químicos, explosivos ou inflamáveis, material radioativo, material biológico concentrado, etc.

Para a coleta devem ser claramente definidos horários, pessoal, procedimentos, equipamentos e rotas para que esta atividade seja conduzida sem interferir com o cotidiano da instalação⁸.

Segundo informações da AMLURB (Autoridade Municipal de Limpeza Urbana do Município de São Paulo), a adoção da segregação pelos maiores hospitais da capital paulista tem reduzido consideravelmente a quantidade de lixo coletada nesses estabelecimentos. Cabe destacar que a quantidade de resíduos gerada por um hospital depende da complexidade e da frequência dos serviços, da tecnologia usada e da eficiência dos responsáveis por esses serviços. A Tabela 1 apresenta os dados percentuais de resíduos produzidos em um hospital.



Fonte: IBGE, Diretoria de Pesquisas, Coordenação de População e Indicadores Sociais, Pesquisa Nacional de Saneamento Básico 2008, pág.64.

Nota: O município pode ter mais de um local para disposição dos resíduos sólidos de serviços de saúde sépticos.

Figura 1 - Proporção de municípios, por destinação final dos resíduos sólidos de serviços de saúde, segundo as Grandes Regiões - 2008

Todos os materiais descartados por médicos, enfermeiros, técnicos de laboratório, auxiliares, etc. nas unidades de serviços especializados devem ser classificados e separados em recipientes para cada tipo de resíduo. Para uma segregação eficiente, sugere-se contar com três recipientes distintos de acondicionamento, um para cada tipo de resíduo gerado. Esses recipientes devem ser fáceis de transportar e de limpar e precisam ser herméticos para evitar exposições desnecessárias. Recomenda-se que sejam sempre complementados com o uso de sacos plásticos para efetuar uma embalagem apropriada dos resíduos.

A implantação de um sistema de gerenciamento interno em um hospital de 200 leitos, fundamentado na segregação dos resíduos por classe, na origem, indicou que apenas 5% em seu peso referia-se a resíduos infectantes, que realmente demandavam cuidados especiais. O restante (95% em peso) correspondia a resíduos semelhantes aos gerados em ambientes domésticos¹⁰.

5.2 Acondicionamento

Segundo a legislação em vigor, o acondicionamento dos resíduos separados deve ser feito por tipo e categoria.

O resíduo infectante deve ser acondicionado em sacos plásticos brancos e identificados com a simbologia de material infectante. O material perfurocortante deve ser acondicionado em embalagens rígidas de plástico, papelão ou metal.

No caso do resíduo especial, a embalagem depende das suas características físico-químicas e periculosidade.

O resíduo comum não contaminado deve ser embalado em sacos plásticos pretos ou, no caso de serem reciclados internamente, materiais como vidros, plásticos, papel, papelão, metais, etc. podem ser acondicionados em embalagens diferenciadas, conforme o tipo de material.

O acondicionamento adequado dos resíduos na origem possibilita controlar os riscos impostos à saúde e facilitar as operações de coleta, armazenamento externo e transporte, sem prejudicar as operações normais das atividades do estabelecimento (ver Capítulo III – Acondicionamento e Coleta do Lixo).

5.3 Armazenamento Interno

O armazenamento interno consiste em selecionar um ambiente apropriado, onde será centralizado o acúmulo de resíduos que deverão ser transportados ao local de tratamento, reciclagem ou disposição final.

Os sacos plásticos brancos que contêm resíduos infectantes devem ser armazenados em locais fechados, de preferência em locais distantes da passagem de pedestres. Na prática, no entanto, verifica-se que

em muitos hospitais esses sacos são armazenados no mesmo espaço físico que os sacos que contêm lixo comum (ver Capítulo III – Acondicionamento e Coleta do Lixo).

5.4 Transporte

O transporte é uma operação que se realiza geralmente fora do estabelecimento de saúde por entidades ou empresas especializadas no tratamento e disposição final dos resíduos sólidos de saúde. No entanto, devido à sua complexidade e magnitude, alguns estabelecimentos ou hospitais contam com sistemas de tratamento dentro de suas próprias instalações. Quando este tratamento é feito internamente, procedimentos de transporte adequados dos resíduos até o local de esterilização e deste até o local de armazenamento (abrigo externo) devem ser adotados, incluindo treinamento de pessoal, definição de horários, uso de carros especiais, etc. Da mesma forma, devem ser estabelecidos acordos com o serviço de limpeza pública e/ou privados que efetuam a disposição final do resíduo esterilizado para que a sua coleta seja regular e este não permaneça muito tempo no local de armazenamento à espera de destinação final (ver Capítulo III – Acondicionamento e Coleta do Lixo).

5.5 Tratamento

Neste item será dada ênfase especial às tecnologias de tratamento e às iniciativas promissoras envolvendo a utilização de algumas dessas tecnologias no País (ver Capítulo IV – Processamento do Lixo – Parte 9: Tratamento Térmico).

5.5.1 Tecnologias disponíveis

São várias as tecnologias disponíveis no mercado, porém praticamente todas apresentam alguns inconvenientes, tanto do ponto de vista sanitário/ambiental quanto do ponto de vista econômico. São poucos os estabelecimentos de saúde que dispõem de tecnologia para tratar resíduos infectantes ou especiais. No entanto, esta prática poderá se generalizar à medida que esses estabelecimentos incorporem o gerenciamento interno dos seus resíduos. A esterilização de amostras infecciosas analisadas nos laboratórios de análises clínicas constitui um exem-

plo de tratamento de resíduos na origem⁷.

Em caso de interesse, o CEMPRE dispõe de informações sobre fornecedores de tecnologias para tratamento de resíduos de serviços de saúde.

• *Tratamento por microondas*

Corresponde a uma tecnologia de desinfecção em que os resíduos são colocados num contêiner de carga e descarregados por meio de um guincho automático numa tremonha localizada no topo do equipamento de desinfecção. Durante a descarga dos resíduos, o ar interior da tremonha é tratado com vapor a alta temperatura que, em seguida, é aspirado e filtrado num hepafiltro com o objetivo de eliminar potenciais germes patogênicos. A tremonha dá acesso a um triturador, onde ampolas, seringas, agulhas hipodérmicas, tubos plásticos e demais materiais são transformados em pequenas partículas irreconhecíveis. O material triturado é automaticamente encaminhado a uma câmara de tratamento onde é umedecido com vapor a alta temperatura e movimentado por uma rosca-semfim enquanto é submetido a diversas fontes emissoras de microondas. Com a trituração, sua massa se mantém, mas o volume diminui em cerca de 80%. As microondas desinfetam o material por aquecimento em temperaturas entre 95 e 100°C por cerca de 30 minutos. Atualmente, este sistema de tratamento é fabricado em duas versões – para 100 e 200 kg/h. Esta opção nem sempre é bem vista pela população porque os resíduos, depois de desinfetados, são dispostos em aterros sanitários. Sempre pairam dúvidas se elementos viróticos que resistem a temperaturas superiores a 100°C não poderão gerar problemas futuros à população.

• *Autoclavagem*

Refere-se a uma tecnologia já difundida em países do primeiro mundo e no Brasil, mas que ainda apresenta custos de instalação e de operação elevados. Consiste na aplicação de vapor saturado sob pressão superior à atmosférica, com a finalidade de se obter esterilização. Pode ser efetuada em autoclave convencional, de exaustão do ar por gravidade, ou em autoclave de alto vácuo, sendo comumente utilizada para esterilização de materiais, tais como: vidrarias, instrumentos cirúrgicos, meios

de cultura, roupas, alimentos, etc. Vastas quantidades de lixo hospitalar perigosos são tratadas em autoclaves de limpeza a vapor por companhias de recolhimento de lixo.

Um exemplo é o aterro sanitário da Proactiva Meio Ambiente Brasil, que se localiza em Biguaçu, na Grande Florianópolis (SC), e opera uma máquina de autoclavagem. Trata-se do procedimento mais moderno de descontaminação do lixo de serviços de saúde. A autoclavagem é sugerida para diversos dejetos da área da saúde na nova legislação do CONAMA e ANVISA, em especial para tratar materiais suspeitos de conter agentes como bactérias, fungos, parasitas e vírus. O tratamento é térmico e consiste em manter o material contaminado sob pressão e à temperatura elevada, através do contato com vapor d'água, durante um período de cerca de 40 minutos para destruir todos os agentes patogênicos. Depois, o lixo é triturado e pode ser colocado no aterro, já que não possui mais perigo de contaminação.

• **Incineração**

Refere-se à queima controlada a temperaturas entre 800 e 1000°C. Do ponto de vista sanitário, esta tecnologia é interessante pois assegura a eliminação dos microorganismos patogênicos e demanda um espaço físico pequeno para as instalações. Entretanto, devem ser analisados alguns aspectos econômicos e ambientais, tais como: investimentos, flexibilidade de adaptação de quantidades a tratar, presença de resíduos perigosos (halogênios, metais pesados, etc.) e lançamento de compostos perigosos na atmosfera (dioxinas, furanos, etc.).

Alguns hospitais têm os seus próprios incineradores instalados e fazem a queima dos resíduos classificados como perigosos. Grandes quantidades de resíduos perigosos de saúde também são incinerados por empresas de recolhimento de lixo de grande porte.

Há uma tendência mundial de adoção dos padrões de emissão de poluentes da *Environmental Protection Agency* (EPA) americana, inclusive por companhias de controle ambiental brasileiras, e esta evolução pode resultar na não-renovação do licenciamento ou até de interdição de pequenos incineradores em futuro próximo em prejuízo de seus proprietários operadores¹¹.

• **Métodos alternativos**

Referem-se a métodos testados em escala de laboratório e em escala piloto e, em alguns casos, já empregados em alguns países, os quais podem, na maioria dos casos, tornar os resíduos hospitalares aceitáveis para a disposição em aterros sanitários juntamente com os resíduos domiciliares. Destes, destacam-se os seguintes:

- fervura em água;
- esterilização fracionada;
- esterilização por aquecimento a seco;
- esterilização por radiação ionizante;
- esterilização por radiação não-ionizante;
- desinfecção por substâncias químicas na forma líquida;
- desinfecção por gases ou vapores químicos;
- encapsulamento.

5.5.2 Iniciativas promissoras

Atualmente, verifica-se que alguns estabelecimentos de saúde, principalmente hospitais de grande porte situados em áreas metropolitanas, estão aderindo ao tratamento *intramuros*, via desinfecção por microondas dos resíduos infectantes, após a sua separação na origem.

Verifica-se também a incidência cada vez maior de hospitais que estão aderindo à segregação na origem e ao sistema de coleta especial, permitindo a acumulação de uma quantidade cada vez maior de resíduos e a implementação de unidades de tratamento centralizadas, via microondas ou autoclavagem, por exemplo. Essas unidades podem ser de responsabilidade dos próprios estabelecimentos, que se organizam em conjunto para viabilizar tais instalações, ou, o que tem sido a prática mais comum, são as prefeituras que tomam a iniciativa e a liderança deste processo. Em geral, os tratamentos são empreitados a empresas privadas que investem na implantação e operação das instalações.

5.6 Disposição dos Resíduos Sólidos

A questão da disposição final dos resíduos sólidos dos serviços de saúde merece destaque prioritário no que se refere ao saneamento básico. Hospitais e serviços de saúde em geral geram uma enorme quantidade de resíduos que requerem disposição adequada. Uma parcela deste resíduo oferece riscos ao ser humano, devendo, portanto, ser armazenada e disposta de maneira apropriada para proteger tanto as pessoas que a manuseia quanto o meio ambiente.

O que geralmente acontece é uma despreocupação na disposição de resíduos dessa natureza, motivada pela falta de informação da população e, principalmente, dos profissionais que atuam na área de saúde pública, aumentando, dessa maneira, os impactos ambientais, o risco à saúde dos trabalhadores envolvidos nesse tipo de serviço e à população que venha a ter contato com esse tipo de resíduo.

A disposição dos resíduos dos serviços de saúde de forma indiscriminada em lixões a céu aberto, ou próximo a cursos d'água, proporciona a contaminação de mananciais de água potável e a proliferação de doenças por intermédio de vetores que, ao utilizarem os lixões como fonte de alimento, multiplicam-se rapidamente.

Os catadores constituem um outro grave problema sanitário, pois além de apresentarem um risco direto à sua própria saúde, os alimentos e os materiais encontrados por eles podem ser comercializados como matéria-prima para diversas atividades. Em Recife, os moradores da favela próximo ao Lixão de Peixinhos, denominação dada ao aterro de 5 hectares onde foram depositados cerca de 300 toneladas diárias de lixo pela Prefeitura de Olinda, chegaram a comer carne humana proveniente de lixo hospitalar para atenuar a fome. O lixo hospitalar era depositado a céu aberto junto com o lixo comum.

Os resíduos de serviços de saúde transformam-se em lixo comum após passarem por um processo de tratamento adequado, devendo ser identificados e considerados como tal, não necessitando a sua embalagem em sacos plásticos brancos (lixo hospitalar infectado)¹³. No entanto, cuidado especial deve ser dado aos resíduos perfurantes com a finalidade de evitar acidentes.

Os resíduos provenientes dos serviços de saúde

devem sempre ser submetidos a um tratamento prévio correto antes de sua disposição final, para diminuição dos seus riscos potenciais à saúde humana e ao meio ambiente.

Todo equipamento médico deverá ser descartado de acordo com as legislações estaduais e federais em vigor.

A disposição de materiais radioativos é extremamente controlada e limitada, devendo obedecer às legislações estaduais e federais em vigor e fiscalização pela Comissão Nacional de Engenharia Nuclear (CNEN).

Todo despejo biológico radioativo deverá ser manuseado primeiramente como material radioativo. Após a realização de testes para verificação de seu potencial de radioatividade, caso não seja enquadrado como material radioativo, poderá ser manuseado como resíduo biológico.

Recomenda-se que os resíduos classificados de genéricos e biomédicos sejam dispostos em aterros sanitários controlados, após tratamento prévio, com adicional cuidado em relação aos resíduos de quimioterapia, patológicos e pontiagudos, culturas e estoques de agentes infectantes, que são dispostos de maneira diferenciada. Todo resíduo biomédico deve ser segregado dos demais tipos de resíduos no seu ponto de origem.

Resíduos pontiagudos devem ser dispostos somente em recipientes apropriados e corretamente identificados¹⁴.

Resíduos de quimioterapia, patológicos, culturas e estoques de agentes infectantes também devem ser dispostos em recipientes apropriados, corretamente identificados, seguindo-se as mesmas recomendações feitas anteriormente para resíduos pontiagudos. A seguir são relacionados os principais métodos de disposição para os resíduos provenientes de serviços de saúde existentes no Brasil⁹.

5.6.1 Céu aberto ou lixões

Infelizmente, apesar de proporcionar a poluição e a contaminação de rios e outros reservatórios de água destinada ao consumo humano e possibilitar a proliferação de doenças veiculadas por vetores, este

ainda é o método mais utilizado pelos municípios para disposição dos resíduos de saúde, com o agravante de que, na maioria das vezes, esses resíduos são dispostos junto com o lixo comum.

Ao longo dos anos reportagens em jornais mostraram que hospitais, escolas de medicina e outros produtores de lixo infectado misturam o lixo hospitalar com o comum, parece infelizmente corroborar a triste realidade com que é encarada a disposição desse tipo de resíduo¹⁵.

Dentre os vários vetores que utilizam os lixões, destacam-se: a mosca doméstica, mosquitos, baratas e roedores. Eles geralmente servem de hospedeiros para os agentes transmissores de doenças, em virtude de freqüentarem constantemente esses locais, que recebem um volume indiscriminado de produtos em decomposição.

A mosca doméstica é responsável pela transmissão de doenças veiculadas por bactérias, vírus, protozoários e helmintos, ultrapassando 100 espécies patogênicas⁹.

O vírus da poliomielite e as doenças amebíase e giardíase, provenientes de bactérias intestinais, são transmitidos para o ser humano pelos helmintos, comumente hospedeiros intermediários das baratas. A filariose bancroftina, a febre amarela, a dengue e a leishmaniose são transmitidas ao homem pela picada de mosquitos infectados, que se desenvolvem nas águas existentes em latas, frascos e outros recipientes dos lixões que hospedam esses agentes transmissores⁹.

Os roedores são os principais responsáveis pela disseminação de doenças, como a leptospirose, a salmonelose e a peste bubônica.

5.6.2 Vazadouros

Este método também recebe a denominação de valetas e consiste no preenchimento de buracos provocados pelas chuvas por resíduos sólidos, incluindo os originários dos serviços de saúde. Como na maioria das vezes situam-se em terrenos inclinados, a percolação do líquido originado pela degradação da matéria orgânica e outros produtos biodegradáveis presentes constitui grave risco à saúde humana e um potencial impacto ambiental

caso alcance mananciais ou fontes de água potável destinadas ao consumo humano. Por esta razão, este método é condenável para a disposição de lixo de um modo geral.

5.6.3 Alimentação de animais

Apesar de parecer absurdo e altamente recriminado pelos órgãos de fiscalização da saúde, o método de utilizar resíduos de unidades de internação, quartos de pacientes, setor administrativo e cozinha como alimento de animais, principalmente porcos, é empregada em municípios que transportam esses resíduos para propriedades particulares. Vale ressaltar que os resíduos a serem utilizados como ração não podem, em hipótese alguma, entrar em contato com pacientes doentes, senão serão considerados contaminados.

No entanto, por mais que não se utilizem os resíduos que tenham entrado em contato com os doentes, a dificuldade de isolamento de espécies bacterianas patogênicas nas amostras de restos alimentares de hospitais gerais e especializados, e considerando-se que o porco serve de hospedeiro intermediário de diversas doenças, essa prática pode produzir a veiculação de doenças como a cisticercose, a neurocisticercose, a tuberculose e outras.

5.6.4 Aterro sanitário

O aterro sanitário, quando devidamente controlado, constitui-se no método mais adequado para disposição de todo tipo de resíduo, incluindo os de serviços de saúde (ver Capítulo V – Disposição Final do Lixo).

Além da escolha de área apropriada, é necessário um projeto de engenharia adequado com impermeabilização do fundo, sistema de drenagem e tratamento de líquidos percolados, drenagem e tratamento de gases, e recobrimento diário do lixo compactado, para a construção e implantação de um aterro sanitário apropriado.

É recomendável que a disposição de resíduos de serviços de saúde obedeça à norma NBR 8419 e NBR 8849^{16,17}, destacando-se os seguintes procedimentos:

- isolar e tornar indevassável o aterro e evitar incômodos às áreas próximas;
- manter vias de acesso externas e internas com condições de tráfego normal em épocas de chuva;
- proteger águas superficiais e subterrâneas de contaminações oriundas do aterro;
- controlar e tratar gases e líquidos resultantes do processo;
- drenar águas de chuva.

As normas para disposição de resíduos de serviços de saúde em aterros sanitários na cidade de Lima (Peru) sugerem áreas de segurança para distribuição ordenada dos resíduos contaminados e especiais. Nesse caso, os resíduos são enterrados diariamente na forma de células acondicionadas com material impermeabilizante (argila) com a finalidade de confiná-los. Essas células também possuem drenos para evacuar os líquidos percolados, estando protegidas por cercas de tal forma que não permitam a presença de pessoal estranho no local¹⁸.

Os aterros sanitários são a melhor forma de disposição para os resíduos de serviços de saúde, uma vez que, segundo eles, esse tipo de resíduo, quando submetido a um processo de tratamento prévio apropriado, torna-se resíduo comum, devendo ser processado de acordo com as normas de disposição para resíduos urbanos^{13, 19}.

O ideal seria que os resíduos contaminados e especiais, provenientes dos resíduos de serviços de saúde, fossem dispostos em células de segurança localizadas no interior do aterro sanitário, somente após o seu correto tratamento, sob rígido controle e precauções.

No entanto, os aterros sanitários não são indicados como a melhor escolha para a disposição dos resíduos de serviços de saúde, exceto para resíduos isentos de qualquer possibilidade de infecção e contaminação²⁰.

5.6.5 Valas sépticas

Este é um método que, apesar de pouco utilizado, apresenta-se como uma alternativa para a dis-

posição final dos resíduos de serviços de saúde na ausência de processos de tratamento prévios e inexistência de aterro sanitário próximo. Sua utilização dependerá da apresentação de fundamentos sólidos justificando essa opção de disposição. Consiste no aterramento de resíduos de serviços de saúde não tratados em valas escavadas no solo, construídas em local isolado e de acesso limitado, em solo de baixa permeabilidade, com lençol freático situado, aproximadamente, a 5 m abaixo da superfície.

Deve-se observar as seguintes precauções e recomendações que devem ser tomadas para o emprego de valas sépticas como alternativa de disposição de resíduos de serviços de saúde em pequenos municípios⁹:

- dimensionamento de valas apropriadas para receber o volume produzido;
- escolha da área para depósito de acordo com as seguintes características físicas: aspecto urbanístico, condições hidrográficas, hidrogeológicas, climáticas e topográficas, e vegetação;
- distribuição ordenada e compactação dos resíduos no interior da vala por equipamento especial com a finalidade de reduzir o volume inicial, idêntica à metodologia empregada em aterros sanitários com formação de células uniformes;
- após a cobertura do solo, aplicar óxido de cálcio (CaO – cal virgem) para formação de uma camada selante e protetora de espessura igual a 1 cm;
- profundidade do lençol freático superior a 3 m do fundo da vala durante o período de chuvas;
- impermeabilização do fundo da vala com argila ou, quando possível, geotêxteis do tipo usado em aterros sanitários para evitar riscos de contaminação do lençol freático;
- afastamento de edifícios, escolas e estabelecimentos de saúde, e isolamento da área com cercas que possibilitem acesso único de entrada e saída;
- executar sistema de drenagem de águas superficiais no entorno da vala para impedir o

contato das águas na massa dos resíduos depositados;

- controle de erosão e águas de chuva (declividade da cobertura e vala drenante ao redor);
- monitoração anual por meio de poços para águas subterrâneas e amostras tomadas nos cursos d'água próximos.

5.6.6 Soluções conjuntas

Também podem ser adotadas soluções conjuntas para a disposição final de resíduos de serviços de saúde. Nesse caso, a implantação e operação, ou somente operação, de qualquer unidade de tratamento (compostagem, incineração, etc.), aliada à disposição final (aterro sanitário), ficará sob a responsabilidade de dois ou mais municípios, direta ou indiretamente, com a finalidade de reduzir custos operacionais pela economia de escala.

Deve-se levar em conta, no entanto, a capacidade das instalações ante a quantidade de resíduos a ser tratada e disposta. Para melhor aproveitamento da capacidade dos equipamentos e instalações, resultando em benefícios econômicos, torna-se necessário agregar vários municípios para atingir a quantidade de resíduos necessária.

As principais vantagens dessa modalidade de administração são as seguintes:

- união dos recursos e esforços existentes nos municípios, possibilitando a execução de determinadas atividades em conjunto;
- redução dos custos relativos a cada parte;
- solução das questões de caráter ambiental.

Por outro lado, uma solução conjunta, via de regra, implica na implantação de uma instalação centralizada, acarretando em maiores distâncias dela até os centros geradores de resíduos, ao contrário de várias unidades servindo a diversos centros geradores.

Portanto, recomenda-se que toda solução conjunta para tratamento e disposição final de resíduos de serviços de saúde seja precedida de um estudo de viabilidade econômica, no qual deverão ser comparados os custos operacionais de tratamento e dispo-

sição com os custos adicionais de coleta e transporte de lixo, considerando-se as soluções individuais e regionalizadas.

5.7 Disposição dos Efluentes Líquidos

Os efluentes líquidos dos serviços de saúde correspondem a materiais e produtos líquidos e pastosos, como sangue, pus, secreções, etc.

O lançamento na rede pública de esgoto sanitário de efluentes líquidos provenientes de serviços de saúde é o método mais comumente empregado no Brasil. Essa forma de disposição se aplica aos resíduos pastosos e líquidos, incluindo os resíduos de diluição em água ou produto químico que não sejam oriundos de pacientes doentes ou que não sejam radioativos.

A grande quantidade de patogênicos, a elevada concentração de matéria orgânica e os materiais de limpeza presentes nos efluentes líquidos de serviços de saúde faz com que esses resíduos sejam considerados especialmente perigosos e representem risco à saúde pública e à qualidade ambiental.

Com a finalidade de reduzir e eliminar riscos ambientais desses efluentes, é necessário que eles sejam submetidos a tratamentos exclusivos ou um pré-condicionamento antes de serem lançados nas redes públicas de esgoto sanitário. No caso de lançamento em cursos d'água, é imprescindível o seu tratamento para adequação nos padrões de qualidade e lançamento em corpos d'água previstos pelas legislações estadual e federal.

Apesar de não existir, no Brasil, uma regulamentação específica para caracterização e lançamento de efluentes líquidos de serviços de saúde, a Legislação do Estado de São Paulo, Decreto nº 8468/76, específica, no Capítulo 11, Seção 11, art. 19, critérios para lançamento em sistema público de esgoto provido de estação de tratamento.

No caso do município não possuir sistema público de coleta de esgoto provido de estação de tratamento, os critérios para lançamento dos efluentes líquidos de serviços de saúde deverão ser enquadrados nas regulamentações e legislações estadual e federal referentes ao lançamento de qualquer fonte poluidora em corpos d'água receptores.

Entretanto, vale ressaltar que a proposição de uma solução única para o tratamento desses efluentes é incorreta e praticamente impossível em decorrência da grande variação de volume e concentração de matéria orgânica, agentes infectantes e patogênicos, e outros produtos que causam risco à saúde humana. Em virtude das inúmeras variáveis envolvidas, a melhor alternativa é a análise de cada caso, isoladamente.

A caracterização e a quantificação dos efluentes líquidos dos serviços de saúde geralmente compõem a primeira ação a ser tomada para solucionar os problemas relacionados ao seu lançamento, pois os resultados obtidos servirão de parâmetros para o dimensionamento de projetos menos onerosos e de comprovada eficiência de estações de tratamento e para adoção de medidas mitigadoras de impacto ambiental.

Os processos de tratamento mais utilizados para redução da elevada carga orgânica e número de microorganismos patogênicos presentes nesses efluentes aos padrões de emissão estabelecidos pelas legislações estadual e federal são os físico-químicos e biológicos ou, ainda, uma combinação desses dois processos.

Dentre os processos físico-químicos pode-se citar coagulação química e eletrólise, enquanto para os biológicos destacam-se lagoas de estabilização, lagoas aeradas, lodos ativados e variações, digestores anaeróbios (RALF – Reator Anaeróbio de Leito Fluidizado, RAFA – Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente, etc.) e decanto-digestores seguidos de filtros anaeróbios.

O Quadro 2 apresenta uma comparação entre as diferentes alternativas de tratamento aplicáveis a esses efluentes.

Quadro 2 – Comparação entre diversos tipos de tratamento de efluentes líquidos

Característica	Tipos de tratamento					
	Lagoas de estabilização	Lagoas aeradas	Lodos ativados e variações	Digestor anaeróbio	Decanto-digestor + filtro anaeróbio	Físico-químico
Remoção de matéria orgânica e sólidos	alta	alta	alta	média	média	média
Remoção de patogênicos	satisfatória	insatisfatória	insatisfatória	insatisfatória	insatisfatória	insatisfatória
Confiabilidade operacional	alta	alta	alta	alta	alta	baixa
Requerimento de área	alto	médio a alto	baixo a médio	baixo	médio	baixo
Produção de lodo	baixa ⁽¹⁾	alta	alta	baixa	baixa ⁽²⁾	alta
Manuseio higiênico do lodo	possível ⁽³⁾	possível	possível	possível	possível	difícil
Dificuldade de operação	baixa	média	alta	média	baixa	alta
Emissão de odores	média	muito baixa	muito baixa	média	alta	alta
Emissão de aerossóis	não	muito alta	alta	não	não	não
Proliferação de vetores	média a alta	não	não	não	não	não
Custo de implantação	baixo ⁽⁴⁾	médio	alto	baixo	baixo a médio	médio
Custo de operação	baixo	médio	alto	baixo	baixo	muito alto

Fonte GUILHEM & GASI²¹

Observações:

1. Apesar da produção baixa, deve-se considerar o acúmulo do lodo na parte inferior das lagoas que deverá ser retirado posteriormente. Geralmente, essa manutenção é executada a cada 5 anos, embora outros fatores, tais como assoreamentos e curtos-circuitos, possam abreviar esse período.
2. Apesar da produção baixa, deve-se considerar o acúmulo do lodo na parte inferior dos decanto-digestores que deverá ser retirado posteriormente. Geralmente, essa manutenção é executada anualmente.
3. A possibilidade está ligada diretamente ao item 1.
4. Sem considerar a área necessária para a implantação.

6 RECICLAGEM

A reciclagem é um procedimento aplicado apenas aos resíduos comuns e/ou especiais de um estabelecimento de saúde, que consiste em recuperar os materiais que podem ser processados para uso posterior. Cabe destacar que os resíduos de saúde são compostos por uma grande variedade de descartáveis, principalmente plásticos, em consequência das exigências de higiene e de segurança no trato com os pacientes²².

Dos resíduos que se geram nos estabelecimentos de saúde, os mais facilmente recicláveis são os resíduos comuns que, quando manipulados de maneira correta e gerados em grande quantidade, podem ter algum valor econômico.

Os resíduos especiais poderão ser reciclados e ter seu volume e toxicidade reduzidos, gerando mate-

rial valioso que pode ser utilizado posteriormente. A segregação na origem, separando os resíduos por classes, pode contribuir significativamente na recuperação dos produtos recicláveis.

A imprensa tem veiculado notícias sobre empresas americanas que após efetuarem a esterilização do lixo médico (não incluindo partes anatômicas), trituram plásticos, fibras artificiais, metais e papel, produzindo um material parecido com confetes. Porém, não se observou nenhuma menção sobre o uso deste material. Dentre essas empresas, destaca-se a *Baxter International Inc.*, que estaria interessada na reciclagem de aventais e lençóis descartáveis usados nas salas de cirurgias.

Após um longo tempo usando instrumentos descartáveis por conveniência, vários hospitais de grandes centros americanos estão se voltando para os reutilizáveis para refrear custos.

BIBLIOGRAFIA

1. GUIDELINES for protecting the safety and health of health care workers. 1999. Hazardous waste disposal. <<http://www.cdc.gov/niosh/hcwold6.html>> (29 nov.).
2. OROFINO, F. V. G. 1996. *Aplicação de um sistema de suporte multicritério – SAATY FOR WINDOWS – na gestão dos resíduos sólidos de saúde – Caso do Hospital Celso Ramos*. Florianópolis. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Catarina.
3. ZANON, U. 1990. Riscos infecciosos imputados ao lixo hospitalar: realidade epidemiológica ou ficção sanitária? *Revista da Sociedade Brasileira de Medicina Tropical*, v. 23, n. 3, p. 163-170, jul.-set.
4. BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Assistência à Saúde. 1997. *REFORSUS. Manual de Procedimentos Ambientais*. Brasília: Ministério da Saúde.
5. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. 2013. *Manuseio de resíduos de serviços de saúde – Procedimento: NBR 12809*. Rio de Janeiro. 4 p.
6. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. 2016. *Coleta de resíduos de serviços de saúde – Procedimento: NBR 12810*. Rio de Janeiro. 3 p.
7. OPAS/OMS. 1997. *Guia para o manejo interno de resíduos em estabelecimentos de saúde. Programa de Saúde Ambiental*. Brasília: Organização Pan-americana de Saúde/Organização Mundial da Saúde.
8. CETESB. 1997. *Resíduos sólidos domiciliares e de serviços de saúde: tratamento e disposição final*. São Paulo: Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental.
9. SCHALCH, V.; ANDRADE, J. B. L.; GAUSZER, T. 1995. *Gerenciamento de resíduos de serviços de saúde*. [s.l.]: [s.n.].
10. MOROSINO, J. J. 1999. *Lixo hospitalar*. <<http://www.vidaconsultores.com.br/lixo.htm>> (20 set.).
11. MONTANARI, G.; MERZVINKAS, M. 1997. Empresa consolida solução para lixo hospitalar sem impacto ambiental. *Revista Limpeza Pública*. n. 44, abr.
12. ALEXANDRE, A. 1994. Carne humana mata fome de mendigos em lixo de hospital. *O Globo*, 15 abr.
13. VITAL FILHO, V. O. R.; BARROS, A. O. L. 1989. *Subsídios para organização de sistemas de resíduos em serviços de saúde*. São Paulo: Centro de Vigilância Sanitária.
14. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. 1997. *Coletores para resíduos de serviços de saúde perfurantes ou cortantes – Requisitos e métodos de ensaio; NBR 13853*. Rio de Janeiro. 4 p.
15. MUGGIATI, A. 1998. Hospitais de SP ainda misturam lixo hospitalar com o comum. *Folha de São Paulo*, São Paulo, 20 fev.
16. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. 2016. *Resíduos de serviço de saúde - Classificação; NBR 12808*. Rio de Janeiro. 2p.
17. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. 1996. *Apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos – Procedimento; NBR 8419*. Rio de Janeiro. 7p.
18. IPES/RUTAS/WEC. 1995. *Curso Taller: Manejo de residuos solidos hospitalarios*. Instituto de Promoción de la Economía

L I X O M U N I C I P A L
MANUAL DE GERENCIAMENTO INTEGRADO

- Social, Asistencia al Desarrollo Sostenible. World Environment Center.
19. RISSO, W. M. 1993. *Gerenciamento de resíduos de saúde: Caracterização como instrumento básico para abordagem do problema*. São Paulo, 1993. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Saúde Pública, Universidade de São Paulo.
 20. MORITZ, J. M. 1995. Current legislation governing clinical waste disposal. *Journal of Hospital Infection*, v. 10, p. 521-530.
 21. GUILHEM, P. E.; GASI, T. M. T. 1993. *Caracterização de efluentes hospitalares – Levantamento bibliográfico*. São Paulo: CETESB.
 22. JARDIM, N. S.; WELLS, C. (Coords.) 1995. *Lixo municipal – Manual de gerenciamento integrado*. São Paulo: IPT/CEMPRE. 278 p. (IPT – Publicação, 2163).
 23. ANDERS, G. 1993. Hospitais dos EUA reaproveitam materiais tóxicos. 17 mar. (reproduzido do *Wall Street Journal*).
 24. RESOLUÇÃO CONAMA nº 358, de 29 de abril de 2005. Publicada no DOU nº 84, de 4 de maio de 2005, Seção 1, páginas 63-65.
 25. Resolução de Diretoria Colegiada - RDC ANVISA nº 306/2004.

CAPÍTULO V

DISPOSIÇÃO FINAL DO LIXO

1 INTRODUÇÃO

Este Capítulo apresenta as orientações técnicas para a disposição final do lixo municipal no solo por intermédio da técnica de aterro sanitário.

São apresentadas definições básicas, discutidas formas de avaliação dos locais de disposição e de projeto, e fornecidas orientações para as decisões técnicas e administrativas necessárias ao adequado gerenciamento dos resíduos sólidos municipais.

1.1 Lixão

É uma forma inadequada de disposição final de resíduos sólidos municipais, que se caracteriza pela simples descarga sobre o solo, sem medidas de proteção ao meio ambiente ou à saúde pública. O mesmo que descarga de resíduos a céu aberto ou vazadouro (Figura 1).

Os resíduos assim lançados acarretam problemas à saúde pública, como proliferação de vetores de doenças (moscas, mosquitos, baratas, ratos, etc.), geração de maus odores e, principalmente, poluição do

solo e das águas subterrânea e superficial pela infiltração do chorume (líquido de cor preta, mau cheiroso e de elevado potencial poluidor, produzido pela decomposição da matéria orgânica contida no lixo¹).

Acrescenta-se a esta situação o total descontrole dos tipos de resíduos recebidos nestes locais, verificando-se até mesmo a disposição de dejetos originados de serviços de saúde e de indústrias. Comumente, ainda, associam-se aos lixões a criação de animais e a presença de pessoas (catadores), os quais, algumas vezes, residem no próprio local.

1.2 Aterro Controlado

É uma técnica de disposição de resíduos sólidos municipais no solo sem causar danos ou riscos à saúde pública e à sua segurança, minimizando os impactos ambientais. Esse método utiliza alguns princípios de engenharia para confinar os resíduos sólidos, cobrindo-os com uma camada de material inerte na conclusão de cada jornada de trabalho.

Esta forma de disposição produz poluição, porém localizada, pois, similarmente ao aterro sanitário, a



Foto: Ivo Miliani

Figura 1 – Lixão

área de disposição é minimizada. Geralmente, não dispõe de impermeabilização de base (comprometendo a qualidade das águas subterrâneas) nem de sistemas de tratamento do percolato (termo empregado para caracterizar a mistura entre o chorume, produzido pela decomposição do lixo, e a água de chuva que percola o aterro) ou do biogás gerado.

Esse método é preferível ao lixão, mas devido aos problemas ambientais que causa e aos seus custos de operação, é de qualidade bastante inferior ao aterro sanitário.

1.3 Aterro Sanitário

Aterro sanitário, conforme ilustrado na Figura 2, é um processo utilizado para a disposição de resíduos sólidos no solo, particularmente lixo domiciliar que, fundamentado em critérios de engenharia e normas operacionais específicas, permite um confinamento seguro em termos de controle de poluição ambiental e proteção à saúde pública. Outra definição o apresenta como forma de disposição final de resíduos sólidos urbanos no solo mediante confinamento em camadas cobertas com material iner-

te, geralmente solo, segundo normas operacionais específicas de modo a evitar danos ou riscos à saúde pública e à segurança, minimizando os impactos ambientais.

Neste Manual, a solução proposta para a disposição final do lixo é o Aterro Sanitário.

2 AVALIAÇÃO DA DISPOSIÇÃO ATUAL DO LIXO

Para a definição do procedimento mais adequado para a disposição do lixo, deve-se partir de um diagnóstico da situação atual do município, considerando-se aspectos como tipo, origem e quantidade de lixo produzido, tratamentos existentes, e características dos locais onde esse lixo é disposto.

Se o município possuir uma área de disposição que possa ser classificada como aterro sanitário, atendendo às especificações técnicas da NBR 8419 (ABNT, 1984), os trabalhos deverão prosseguir, mantendo-se o planejamento e a operação previamente definidos, não se descuidando em relação ao cronograma de viabilização de uma área sucessora.

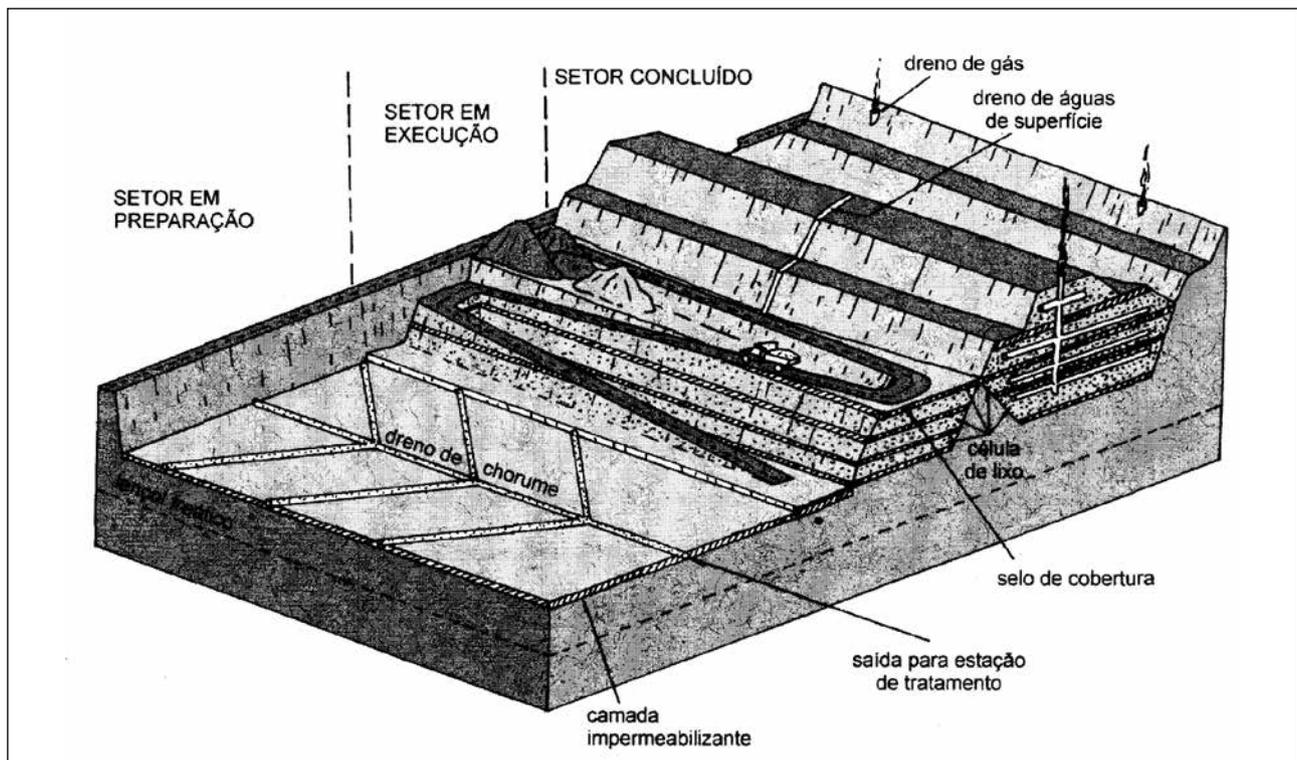


Figura 2 – Aterro sanitário

2.1 Identificação dos Problemas

A avaliação do local de disposição de lixo do município visa conhecer as condições favoráveis e desfavoráveis existentes e priorizar as medidas eventualmente necessárias. Essas deficiências nos aterros de resíduos podem ser de ordem sanitária, ambiental e/ou operacional.

As deficiências de ordem sanitária frequentemente encontradas são: fogo, fumaça, odor, vetores de doença, tanto os macrovetores (cachorros, gatos, ratos, urubus, pombos e outros) como microvetores (moscas, mosquitos, bactérias, fungos e outros).

Quanto às de ordem ambiental, os aspectos geralmente presentes são: poluição do ar, poluição das águas superficiais e subterrâneas, poluição do solo, e prejuízo à estética e paisagem local.

Da mesma forma, quanto às deficiências operacionais, podem ocorrer: vias de acesso intransitáveis durante as épocas de chuvas, falta de controle da área (ausência de cercas e de vigilância, presença de catadores), descontrole dos resíduos recebidos (não-adoção de procedimentos para inspeção, pesagem, etc.), ausência de critérios para disposição do lixo no solo (frente de trabalho maior que o recomendável, manejo impróprio do lixo).

2.2 Decisão do Futuro da Disposição de Lixo no Município

A continuidade de operação (com sua adequação) ou a necessidade de fechamento de um local de disposição de lixo municipal (com viabilização de nova área) deve ser avaliada com base em um conjunto de critérios, dentre os quais podem ser citados:

- adequação ambiental, considerando-se a legislação ambiental em vigor (ver Capítulo VII – Legislação e Licenciamento Ambiental);
- aptidão natural do terreno, avaliada em função de características como geologia, geotécnica, hidrogeologia, biota, tendências de uso e ocupação do solo nos entornos da área, conflitos de uso do solo existentes;
- vida útil remanescente, determinada com base no volume de lixo a ser disposto, área

efetiva disponível (considerando-se restrições de uso e as áreas já utilizadas) e projeto geométrico mais adequado à utilização do local;

- histórico de operação, incluindo-se aspectos como volume e, principalmente, tipos de lixo recebidos, infra-estrutura existente (impermeabilização de base, drenagens, sistemas de tratamento de percolado e biogás, isolamento, etc.), condições de operação praticadas no passado (compactação, cobertura, etc.);
- distância aos centros produtores de resíduos e estado de conservação das vias de acesso;
- infraestrutura, mão-de-obra e equipamentos necessários à adequada operação do local;
- possibilidade de expansão em área contígua ao atual local de disposição;
- existência de áreas alternativas e tempo necessário para viabilizar o novo aterro;
- disponibilidade de recursos financeiros.

Resumidamente, pode-se considerar que a adequação de um local de disposição de resíduos sólidos municipais decorre de três macroconjuntos de parâmetros, relativos, respectivamente, à qualidade natural do local utilizado para o aterro, à infraestrutura instalada e aos procedimentos operacionais adotados.

A possibilidade do município corrigir os aspectos negativos passíveis de melhoria e a conjugação de desempenho nestes três fatores é que definirá o futuro do aterro e, por conseguinte, se ele tem ou não condições de prosseguir sendo operado ou se é o momento de proceder seu encerramento em favor da utilização de outra área.

A partir do diagnóstico da atual área de disposição de lixo do município, a tomada de decisão pode ser ilustrada conforme a Figura 3.

A título de exemplo, o Quadro 1 mostra um *checklist* que vem sendo aplicado pela CETESB desde 1997 na avaliação dos aterros de resíduos no Estado de São Paulo, onde é calculado o índice de Qualidade de Aterros de Resíduos – IQR, a partir do qual a condição do local de disposição é avaliada e classificada em adequada, controlada e inadequada.

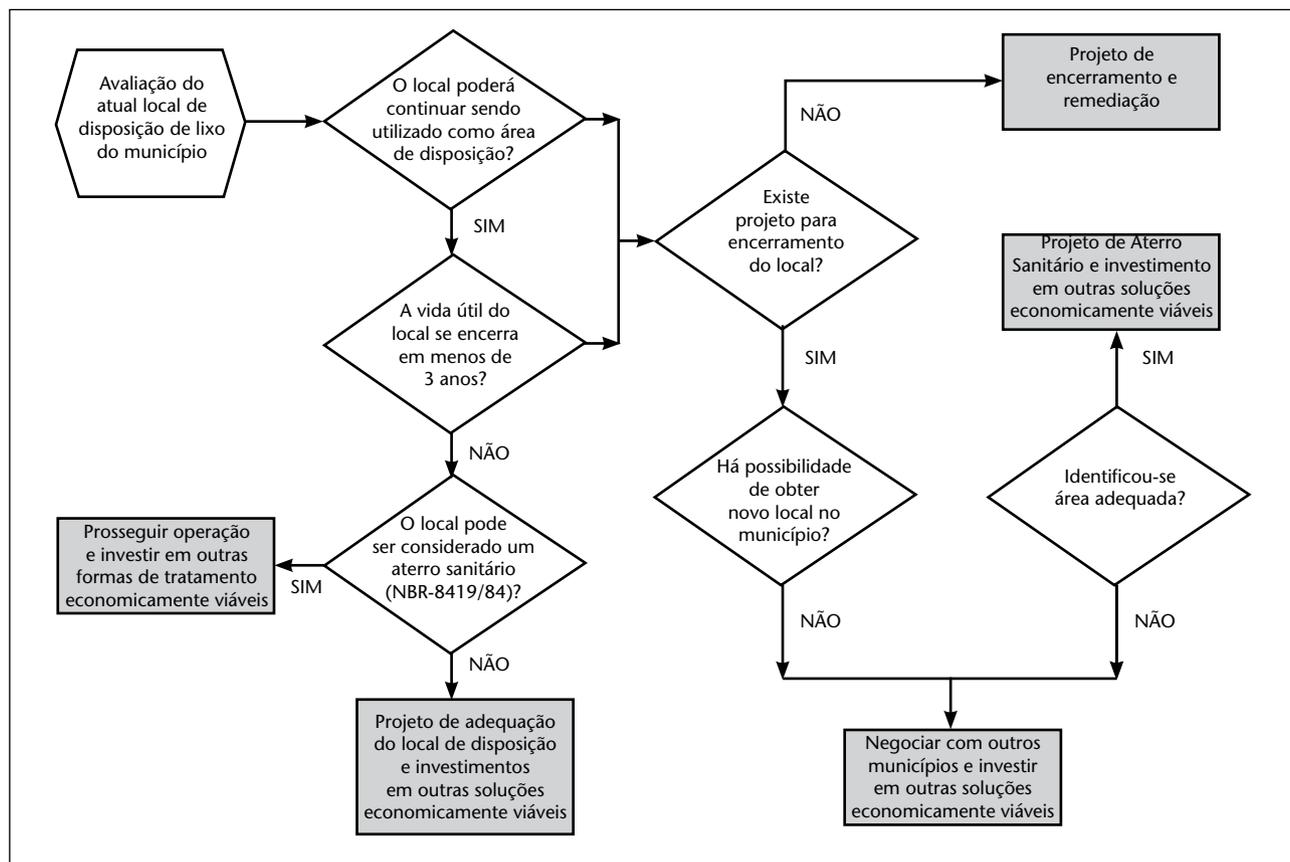


Figura 3 – Fluxograma de decisões sobre a disposição de resíduos do município

Das alternativas de saída apresentadas na Figura 3, as três básicas serão apresentadas em itens específicos deste Capítulo. Cabe lembrar que, muitas vezes, há a necessidade de implementar tais medidas de forma concomitante.

ENCERRAMENTO / REMEDIAÇÃO

Compreende o processo que objetiva reduzir, o máximo possível, os impactos ambientais negativos causados pela deposição (ou por término da vida útil do local) do lixo municipal, considerando-se a decisão de encerrar a operação no local, estabilizar e destiná-lo a uma utilização adequada no futuro.

ADEQUAÇÃO DE ATERRO EXISTENTE

Trata-se de processo que visa o aperfeiçoamento progressivo de área de disposição de lixo, habilitando-a à condição mais próxima possível das de um aterro sanitário ao longo de sua vida útil.

VIABILIZAÇÃO DE NOVO ATERRO SANITÁRIO

Compreende tanto as atividades para a viabilização de um novo local para o aterro sanitário como a concepção e elaboração de projeto para sua instalação, operação e encerramento.

2.3 Alocação de Recursos

Deve-se ter em mente que todas as alternativas mencionadas no item 2.2 exigirão alocação de recursos, tanto para investimentos em estudos de projeto e construção das instalações como para a manutenção das condições projetadas.

Assim, na fase de implantação haverá gastos com estudos preliminares, diagnóstico, inventário, projetos, instalações e obras de infraestrutura, aquisição de equipamentos e treinamento de recursos humanos.

Quadro 1 – Critérios utilizados para cálculo do índice de qualidade de aterros de resíduos – IQR

CARACTERÍSTICAS DO LOCAL				ÍNDICE DE QUALIDADE DE ATERROS DE RESÍDUOS – IQR				CONDIÇÕES OPERACIONAIS			
SUBITEM	AVALIAÇÃO	PESO	VALOR	SUBITEM	AVALIAÇÃO	PESO	VALOR	SUBITEM	AVALIAÇÃO	PESO	VALOR
Capacidade de suporte de solo	Adequada Inadequada	5 0		Cercamento da área	Sim Não	2 0		Aspecto geral	Bom Ruim	4 0	
Proximidade de núcleos habitacionais	Longe > 500 m Próximo	5 0		Portaria/Guarita	Sim Não	2 0		Ocorrência de lixo descoberto	Não Sim	4 0	
Proximidade de corpos d'água	Longe > 200 m Próximo	3 0		Impermeabilização de base do aterro	Sim/Desnec. Não	5 0		Recobrimento de lixo	Adequado Inadequado Inexistente	4 1 0	
Profundidade do lençol freático	> 3 m 1 a 3 m 0 a 1 m	4 2 0		Drenagem de chorume	Suficiente Insuficiente Inexistente	5 1 0		Presença de urubus ou galvoas	Não Sim	1 0	
Permeabilidade do solo	Baixa Média Alta	5 2 0		Drenagem de águas pluviais (definitiva)	Suficiente Insuficiente Inexistente	4 2 0		Presença de moscas em grande quantidade	Não Sim	2 0	
Disponibilidade de material para recobrimento	Suficiente Insuficiente Nenhuma	4 2 0		Drenagem de águas pluviais (provisória)	Suficiente Insuficiente Inexistente	2 1 0		Presença de catadores	Não Sim	3 0	
Qualidade do material para recobrimento	Boa Ruim	2 0		Trator de esteiras ou compatível	Permanente Periodicamente Inexistente	5 2 0		Descarga de resíduos de serviço de saúde	Não Sim	3 0	
Condições do sistema viário, trânsito e acesso	Boas Regulares Ruins	3 2 0		Outros equipamentos, trânsito e acesso	Sim Não	1 0		Descarga de resíduos industriais	Não/Adeq. Não/Inadeq.	4 0	
Isolamento visual da vizinhança	Bom Ruim	4 0		Sistema de tratamento do chorume	Suficiente Insuf./Inexist.	5 0		Funcionamento da drenagem pluvial definitiva	Bom Regular Inexistente	2 1 0	
Legalização da localização	Local permitido Local proibido	5 0		Acesso à frente de trabalho	Bom Ruim	3 0		Funcionamento da drenagem pluvial provisória	Bom Regular Inexistente	2 1 0	
SUBTOTAL 1				SUBTOTAL 2				SUBTOTAL 3			

Observações:
IQR = (SUB 1 + SUB 2 + SUB 3)/13
0 ≤ IQR ≤ 6,0 expressam condições inadequadas para o aterro
6,0 < IQR ≤ 8,0 expressam condições controladas para o aterro
8,0 < IQR ≤ 10,0 expressam condições adequadas para o aterro
Fonte: CETSB²

Na fase de operação ganharão destaque os gastos com a operação, manutenção, monitorização, tratamentos e instalações auxiliares.

Da mesma forma, na fase de fechamento, tem-se os custos com as obras para estabilização física e as atividades de manutenção e o tratamento de efluentes e monitorização até a completa estabilização química e biológica da área. Após a completa estabilização do local, ainda poderão ser necessárias obras para adequação ao uso futuro.

3 REMEDIAÇÃO E FECHAMENTO DE LIXÕES

Os locais de disposição que tenham que ser encerrados, por motivos ambientais ou de vida útil, deverão ser tratados de maneira a minimizar eventuais impactos sanitários e ambientais instalados ou potenciais.

Para tanto, deverão ser definidas as ações para o término da operação e, caso necessária, para a remediação do local, estabelecendo-se prioridade para as ações que demandem menores investimentos e prazos e que atuem sobre os impactos mais significativos. As ações devem ser realizadas de modo que o fechamento e remediação não inviabilizem a disposição do lixo, no curto prazo, enquanto se viabiliza um novo aterro para o município.

As ações mitigadoras a implementar, e consequentemente o tempo necessário para se atingir a completa inertização da massa de lixo, são variáveis, sendo função dos recursos disponíveis e da concepção adotada.

Em um lixão ou em um aterro sanitário que deva ser desativado, a meta é estabilizá-lo (física, química e biologicamente) e, após esta estabilização (período geralmente não inferior a 10-15 anos após encerramento da disposição de lixo), destiná-lo a um uso compatível (Figura 4).

Algumas ações descritas mais detalhadamente no item referente à adequação de aterro de resíduos também são necessárias como atividades intermediárias para o fechamento de um lixão. Assim, pode-se citar:

- eliminação de fogo e fumaça;
- delimitação da área;

- limpeza da área de domínio;
- movimentação e conformação da massa de lixo;
- cobertura final;
- drenagem das águas superficiais;
- drenagem de biogás e percolado da massa de lixo;
- coleta e tratamento de biogás e percolado;
- monitorização geotécnica e ambiental;
- manutenção das estruturas do aterro de resíduos;
- projeto paisagístico e de uso futuro da área.

Quanto à cobertura definitiva, deve ser destacada, ainda, a necessidade de adequação ao uso futuro da área, além de ser projetada e executada de maneira a atender aos requisitos de isolar o lixo do meio ambiente, impedir a infiltração de chuvas (o que aumentaria o volume de percolado) e impedir a saída não controlada do biogás.

Na definição e projeto da remediação, as diversas concepções devem ser escolhidas, levantando-se em conta aspectos como a expectativa de tempo necessário para o término da geração de biogás e líquidos percolados, o término da movimentação da massa de resíduos (deslocamentos horizontais e verticais) e o início da utilização pós-estabilização projetada para o local.

A alternativa de remoção do material deve ser avaliada com cuidado, pois poderá engendrar a migração de contaminantes diversos devido às alterações nas condições vigentes no interior do aterro.

Dependendo das condições hidrogeológicas locais, poderão ser necessárias obras para rebaixamento do lençol freático, mantendo-se o lixo fora de sua área de influência.

4 ADEQUAÇÃO DE ATERROS DE RESÍDUOS SÓLIDOS MUNICIPAIS

4.1 Diretrizes Técnicas

Após o diagnóstico local e a identificação da alternativa para correção dos problemas detectados,

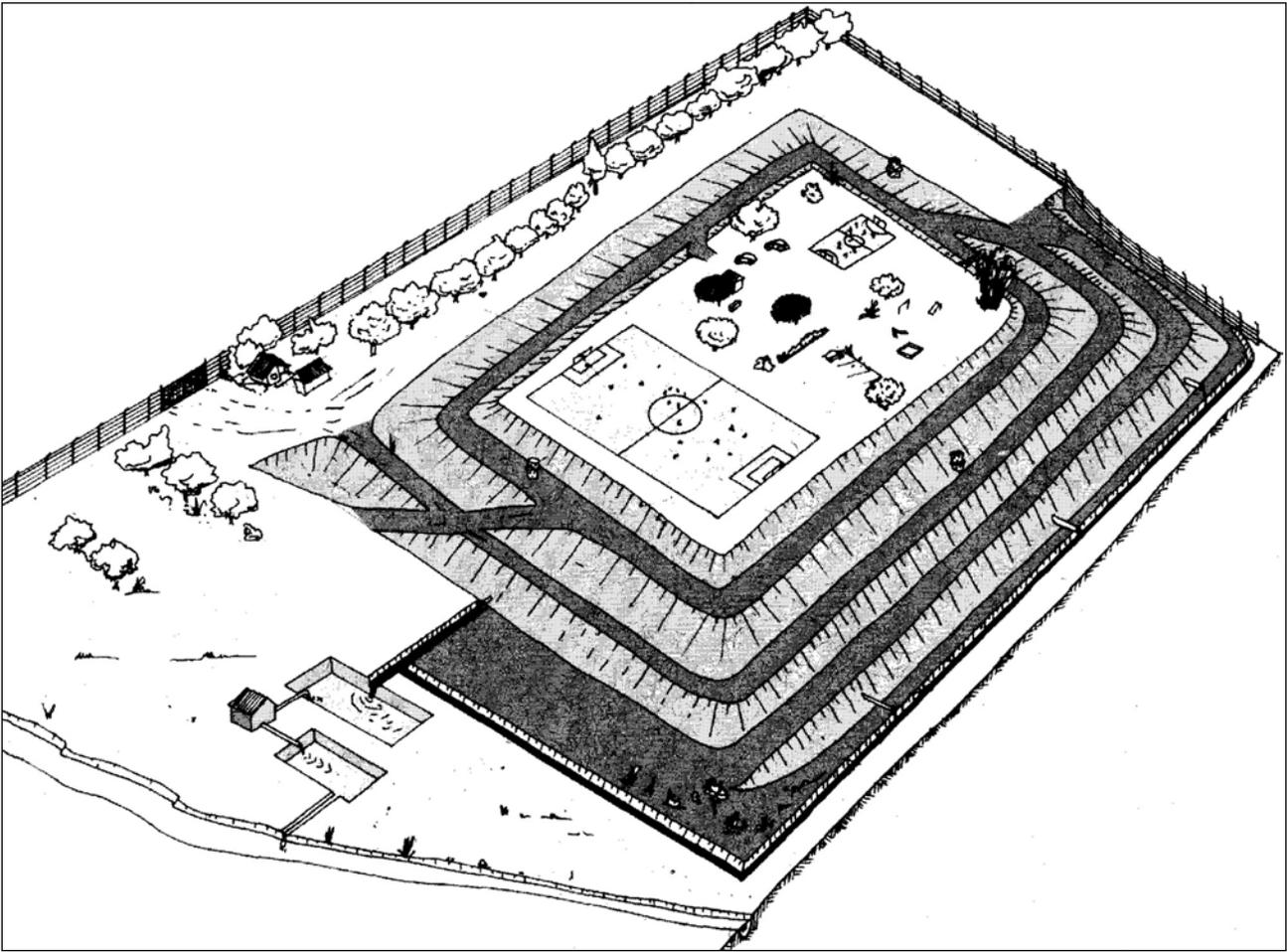


Figura 4 – Fechamento do aterro sanitário

existe a necessidade de projetos técnicos para orientar as providências a serem tomadas. O nível de detalhamento destes projetos dependerá do porte da cidade e/ou da quantidade de resíduos disposta.

Como citado anteriormente, a ordem de intervenção deverá priorizar, respectivamente, soluções para os problemas sanitários, ambientais e operacionais (Figura 5).

4.2 Sequência de Atividades para Adequação do Aterro de Resíduos

As atividades para a adequação de um aterro de resíduos visam conduzi-lo, o mais próximo possível e gradativamente, às condições de aterro sanitário. A ordem de apresentação das atividades indica a importância relativa entre elas.

4.2.1 Problemas sanitários

É importante que esse fator seja o primeiro a ser considerado, evitando-se, principalmente, problemas diretamente ligados à saúde pública. As ações necessárias podem ser assim definidas:

- **Movimentação e conformação da massa de lixo**

Visa a regularização mecânica do material disposto, de acordo com a especificação do projeto.

- **Eliminação de fogo e fumaça**

Obtida mediante cobertura do lixo (cobertura diária, intermediária e final), podendo-se utilizar o solo



Figura 5 – Ausência de critérios e controle da disposição

local, ou importado de outras áreas, e mesmo, em nível emergencial, o lixo já estabilizado como material de cobertura.

• **Delimitação da área de operação**

Como se sabe, a geração de percolado é o principal impacto ambiental negativo de um local de disposição de resíduos. Da mesma forma, sabe-se que a pluvio-metria é sua principal causadora (pois, ao migrar pelo aterro, incorpora o chorume da decomposição e dissolve elementos do próprio lixo). Assim, fica evidente que quanto menor for o espalhamento superficial do lixo, menor será a área de lixo exposta à ação das chuvas e menor será a quantidade de percolado gerado.

Ainda, próximas às áreas de operação, deverão ser instaladas defensas para impedir o arraste do lixo pelo vento.

É fundamental que se defina uma frente de trabalho pequena e que se adotem medidas para que ela seja obedecida, evitando-se o espalhamento lateral do lixo.

Outro aspecto essencial é a delimitação da área do aterro sanitário, que poderá ser executada com itens de isolamento e proteção (valas, diques de terra, cercas, etc.), impedindo a entrada de pessoas e de animais.

• **Limpeza da área de domínio**

Em decorrência do exposto no item anterior, a área que não está sendo utilizada deverá ser limpa, sendo removido o lixo ali eventualmente existente, agrupando-o na área principal de operação, permitindo menor espalhamento e condições mais adequadas de aproveitamento do local.

4.2.2 Problemas ambientais

Os problemas ambientais são aqueles que afetam indiretamente a saúde pública. No sentido da consolidação do aterro sanitário, o aspecto ambiental exige:

- **Drenagem de águas pluviais**

A área de contribuição de águas superficiais do aterro deve ser isolada (diques, canaletas, tubulações), de modo a evitar a entrada de água nas áreas já aterradas com lixo. Locais com nível d'água raso poderão, ainda, exigir drenagem subterrânea para impedir que água do freático venha a entrar em contato com o lixo.

Outra tarefa importante é a separação das águas superficiais (não contaminadas) das águas que percolam pelo aterro (contaminadas). Portanto, há a necessidade de execução de drenagens de águas pluviais sobre as áreas que já receberam cobertura final no aterro sanitário.

- **Drenagem de biogás e percolado da massa de lixo**

Com a utilização de equipamento adequado (retroescavadeira), deverão ser abertas valas na massa de lixo para a instalação de drenos de percolado e biogás (Figura 6).

Todas as drenagens de líquidos percolados devem ser direcionadas para um tanque de acumulação, para o início das operações de tratamento (Figura 7). O volume e as características do tanque deverão ser definidos em projeto, bem como o tipo de tratamento do percolado (ver item 6.3 deste Capítulo e o Capítulo VI – Tratamento de Efluentes Líquidos de Aterros Sanitários).

No caso do biogás, recomenda-se sua queima quando do lançamento à atmosfera. A possibilidade de recuperação energética também pode ser avaliada, uma vez que o biogás apresenta concentrações iniciais de metano em torno de 40% (alguns meses após o aterramento), estabilizando-se em valores em torno de 60 a 65% (cerca de um a dois anos após aterramento). O poder calorífico do metano é de 5.800 kcal/Nm³.

- **Arborização em torno da área (cinturão verde)**

A finalidade desta atividade é evitar impactos visuais negativos ao público externo e também otimizar a dispersão vertical do biogás e odores (Figura 8). É necessário o plantio de árvores e arbustos de pequeno e médio porte, preferencialmente nativas, para se conseguir uma barreira de isolamento compacta, desde a base até o topo, evitando-se o

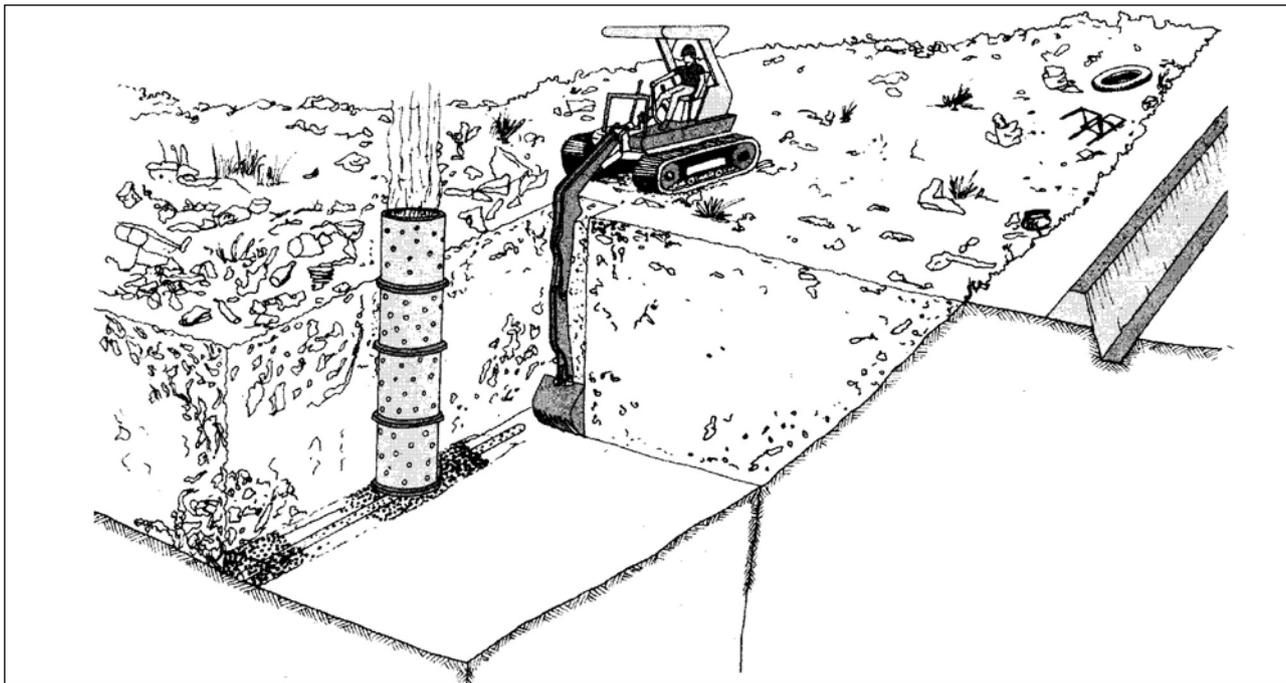


Figura 6 – Instalação de drenos para efluentes líquidos e gasosos

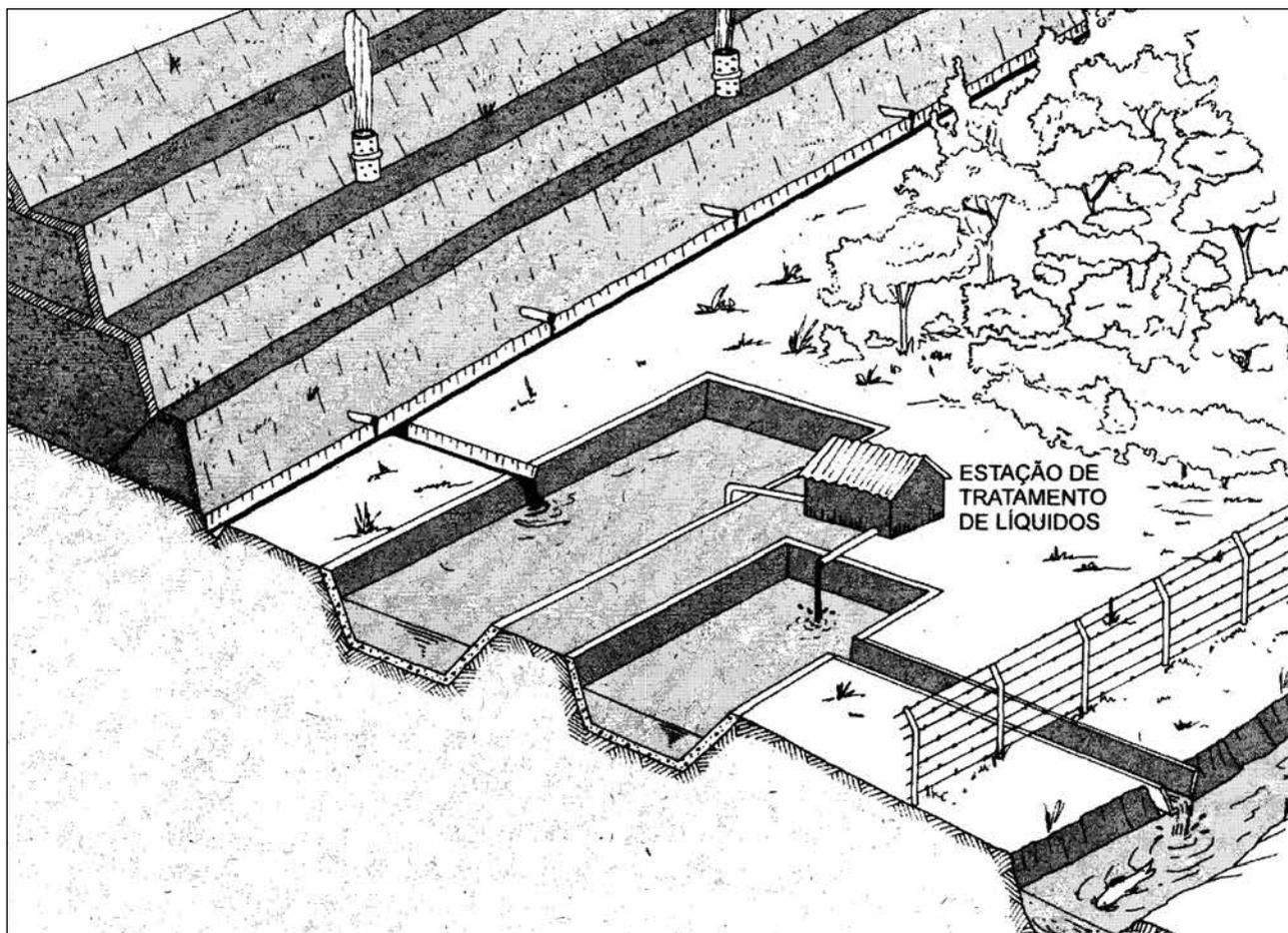


Figura 7 – Coleta e tratamento dos efluentes líquidos percolados

chamado efeito paliteiro (típico de barreiras vegetais constituídas por eucaliptos adultos, por exemplo, que não cumprem adequadamente a função de isolamento visual).

• **Cuidados para evitar a contaminação das águas subterrâneas**

As novas fases do aterro, ou seja, as novas frentes de operação, deverão, na medida da necessidade local, receber camada de impermeabilização basal.

Na concepção da camada impermeabilizante, em nível de projeto, são especificadas as espessuras e as condições de compactação que fornecerão a permeabilidade e a proteção requeridas. Os locais onde os materiais de empréstimo serão obtidos também devem ser apontados.

4.2.3 Problemas operacionais

Esses aspectos estão diretamente relacionados ao manejo do lixo, ou seja, às formas e condições da operação cotidiana na disposição dos resíduos sólidos no aterro.

Após a preparação da nova fase, sob condições de aterro sanitário, as áreas que já haviam recebido lixo deverão ser tratadas.

Concomitantemente, deve-se planejar a melhoria das vias internas de acesso (Figura 9), considerando-se aspectos como geometria do traçado e material adequado para o pavimento de modo a possibilitar o trânsito de veículos sob quaisquer condições de tempo.

O controle da área exige medidas como a presença de vigilância contínua e a implantação de cercas

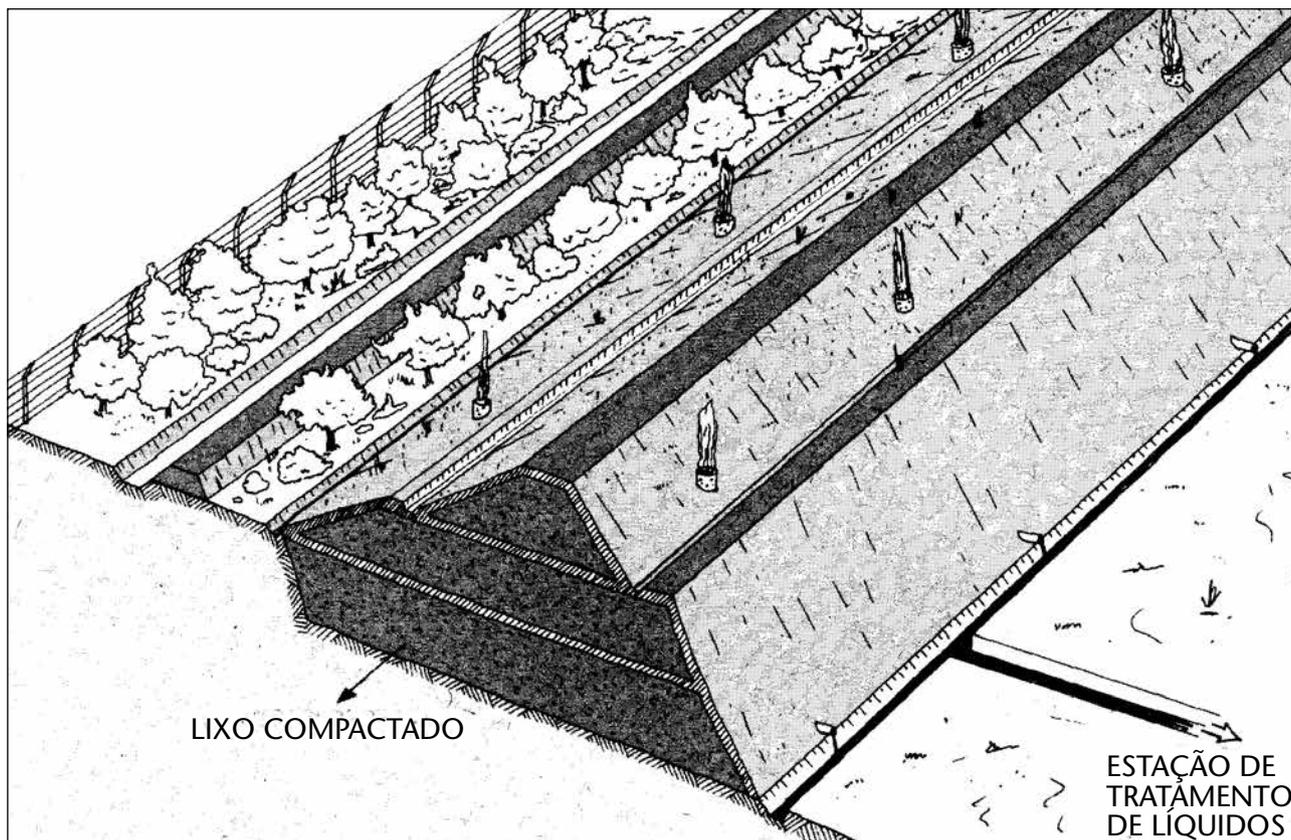


Figura 8 – Cinturão verde em torno da área de disposição

para evitar a entrada de animais e de pessoas estranhas ao empreendimento (catadores, por exemplo).

É importante ressaltar que não há oposição à atividade de recuperação de materiais recicláveis. O entendimento, porém, é de que isto não deva ocorrer na área do aterro, muito menos em sua frente de operação. Podem ser projetados locais ou programas minimamente estruturados para tais atividades caso haja alguma intenção mais consequente a esse respeito.

A frente de trabalho, na área de descarga, deve ser a mínima necessária, devendo receber cobertura diária de fina camada de solo (não superior a 0,20 m, de modo a não prejudicar a vida útil do aterro).

O método de manejo deverá ser definido em projeto, em função da área, dos equipamentos disponíveis e do volume diário de resíduos a ser manuseado.

Para o controle da disposição, o projeto deve prever a instalação de balança rodoviária na entrada do aterro. Onde não for viável esta possibilidade, os

resíduos deverão ser pesados, utilizando-se outra balança rodoviária disponível no município.

É também conveniente que o resíduo seja inspecionado na entrada do aterro com o objetivo de se evitar a entrada de materiais incompatíveis com o aterro sanitário (tais como resíduos perigosos, que devem ser dispostos para aterros industriais, mais complexos; ou resíduos inertes, que podem ser dispostos em aterros de inertes, mais simplificados). Outro objetivo desta operação é a determinação da composição física do lixo recebido.

4.3 Elaboração de Projeto de Adequação

Para a consecução dos objetivos descritos nos itens anteriores, é necessária a execução de projetos técnicos, dos quais devem constar os critérios estabelecidos para a adequação da área do aterro de resíduos.

No item 6 deste Capítulo é discutida a elaboração de projeto de aterros em áreas novas, sendo

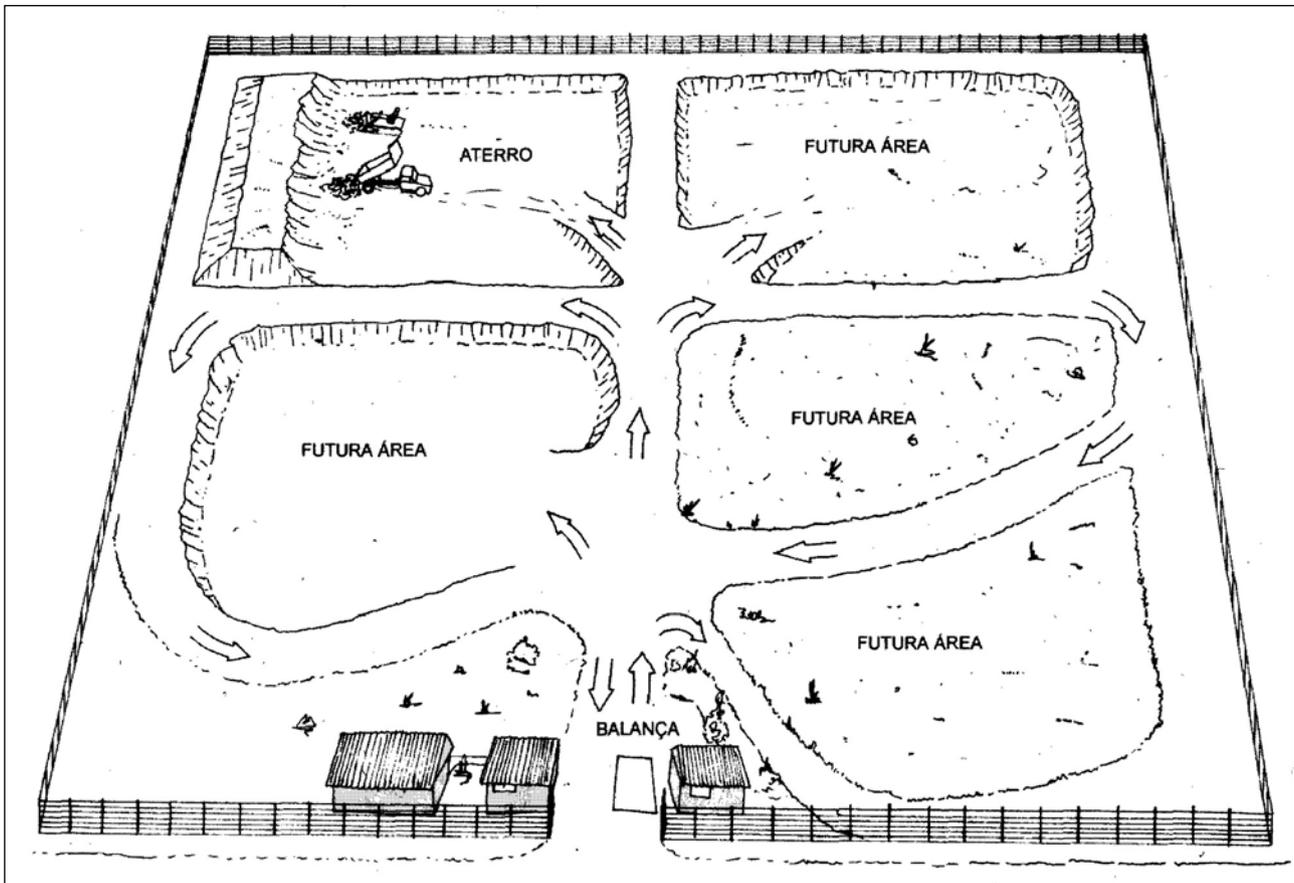


Figura 9 – Infra-estrutura de acesso e circulação

aqui aplicáveis aquelas considerações, porém, com algumas adaptações técnicas e operacionais.

É desejável que se detalhe o projeto de adequação do aterro de resíduos de modo a contemplar os seguintes aspectos:

- projeto de infraestrutura de acesso e circulação;
- projeto geométrico de conformação das células de lixo com respectivos sistemas de drenagem de biogás, percolados e águas superficiais;
- projeto de exploração de jazidas de solo para material de cobertura;
- projeto de áreas de descarte de solo excedente;
- projeto de operação diária/mensal do aterro sanitário, definindo-se coberturas temporárias e definitivas nas células acabadas;
- definição do tratamento superficial da cobertura do aterro adequado ao destino final da área;
- projeto do tanque de armazenamento de percolados e sistemas de tratamento associados;
- projeto de recuperação e/ou queima de biogás;
- projeto de monitorização geotécnica e ambiental, incluindo piezometria, poços de amostragem, inclinômetros, marcos superficiais e controle de vazão de percolado (Figura 10);
- projeto de obras complementares, incluindo edificações (escritório, refeitório, vestiário, etc.), balança, cercas, defensas e guaritas.

4.4 Procedimentos para Manutenção da Condição de Operação como Aterro Sanitário

Os procedimentos de operação devem seguir uma sequência lógica, que se inicia no recebimento do lixo e é finalizado com o meio de transporte – no caso, o caminhão de lixo – partindo do aterro sanitário.

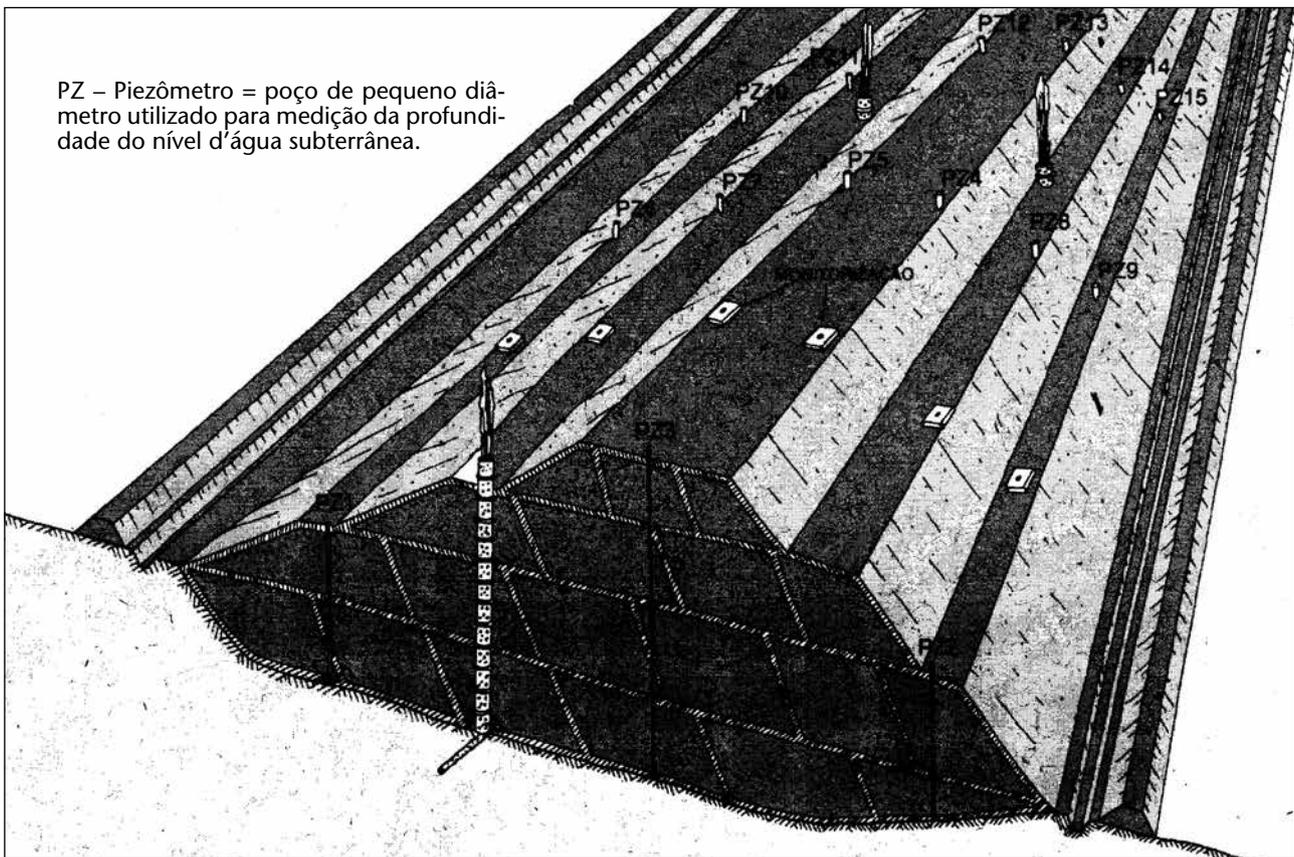


Figura 10 – Pontos de monitorização geotécnica do aterro sanitário

O recebimento deve ser realizado na portaria do aterro sanitário.

O caminhão deve ser pesado em balança rodoviária localizada antes e depois da descarga para se ter controle do volume diário/mensal disposto no aterro sanitário.

A seguir, o caminhão deve ser vistoriado por técnico devidamente treinado para inspecionar, classificar o resíduo e direcioná-lo para o local onde deverá ser disposto de acordo com o zoneamento definido para o aterro sanitário (Figura 11).

Recomenda-se manter uma área destinada à descarga emergencial para épocas de chuvas excessivas ou quando, por qualquer motivo, a frente de trabalho estiver impedida de ser operada ou acessada.

Na frente em operação, o resíduo deve ser regularizado e compactado por equipamento apropriado para o trabalho (trator de esteira ou, preferencial-

mente, trator com rodas compactadoras). Logo que se tenha concluído a célula e/ou o dia de serviço, o lixo deverá ser coberto com solo apropriado. O solo para as coberturas (diária, intermediária e final) pode provir da área de empréstimo ou do material excedente das operações de corte/escavação das valas ou rampas, dependendo do método operacional utilizado no manejo do lixo e das especificações de projeto. A finalidade das coberturas é a de impedir o arraste de materiais pela ação dos ventos, evitar catação, evitar proliferação de moscas, roedores e outros vetores de doença, evitar o aspecto antiestético do lixo exposto, facilitar a movimentação das máquinas e veículos sobre o aterro, e propiciar o escoamento superficial, dificultando a infiltração das águas precipitadas sobre o aterro.

A execução e manutenção das obras complementares (sistema de drenagem, acessos e outros) e a leitura dos instrumentos que compõem o sistema de monitorização devem ser realizadas de modo a

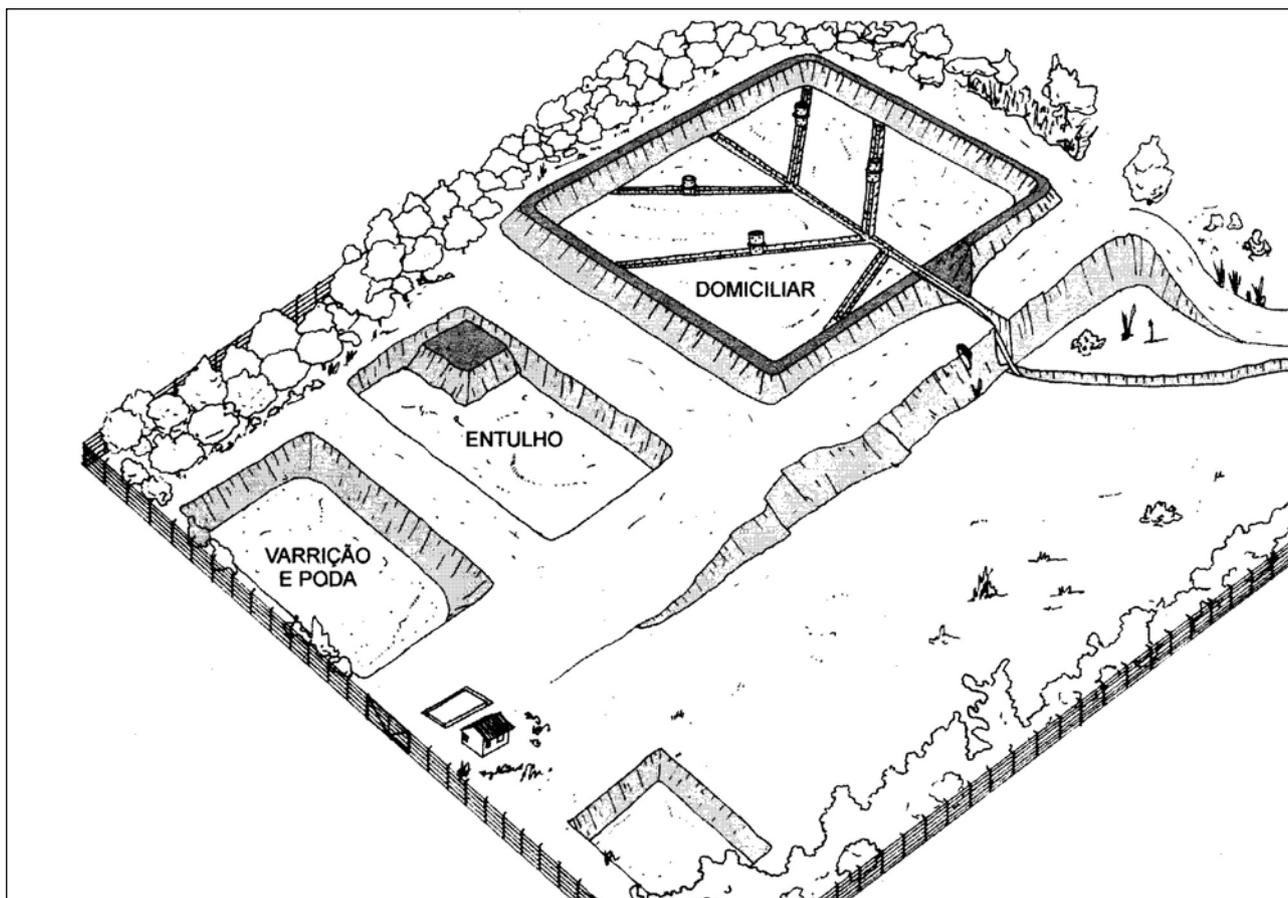


Figura 11 – Zoneamento das áreas de disposição dos resíduos

se obter o perfeito controle do comportamento do aterro sanitário, a qualquer momento, encaminhando as manutenções e correções necessárias.

A manutenção das características de aterro sanitário requer estreita obediência às especificações técnicas do projeto. Adequações ante situações imprevistas e de manutenção esporádicas não são raras. Dentre as situações emergenciais possíveis de ocorrer e que exigirão decisões imediatas podem ser citadas:

- ineficiência da drenagem do percolado, acarretando surgência de percolado nas bermas e/ou taludes de massa de lixo e infiltrações no lençol freático;
- ineficiência dos drenos de águas superficiais;
- ineficiência da impermeabilização de base provocando infiltrações no lençol freático;
- erosão nas camadas de cobertura de solo (diária, intermediária e final);
- migração de biogás e percolado para áreas vizinhas;
- instabilização de taludes de solo, naturais e/ou construídos;
- ocorrência de trincas e deformações excessivas nas regiões com cobertura final;
- escorregamentos de massa de lixo.

Outro aspecto que deve ser contemplado nesta fase operacional é a otimização dos recursos humanos, materiais e financeiros disponíveis, de forma, a possibilitar a operação do aterro sanitário dentro dos critérios técnicos previstos em projeto. Essa prática deve adequar-se à forma de administração do aterro sanitário, se por administração direta (com inves-

timentos em equipamentos e formação de equipe técnica) ou por terceirização dos serviços (com investimentos para formação de uma equipe de fiscalização e acompanhamento).

Independentemente do método operacional adotado, contudo, a frente de trabalho em operação deve ser a mínima possível, de forma que o lixo não fique espalhado, prejudicando a compactação, o acesso e a cobertura.

O planejamento da execução do aterro deve considerar a construção das drenagens de águas superficiais, águas subterrâneas, do percolado e do biogás, concomitante à formação das células e camadas.

É ideal que seja implementado um sistema de zoneamento na disposição dos diferentes tipos de resíduos recebidos no aterro sanitário, especialmente quando houver recepção de resíduos de particulares (codisposição).

Os efluentes líquidos e gasosos, provenientes da decomposição dos resíduos, devem ser coletados e submetidos a processos de tratamento adequados às condições do corpo d'água que receberá as emissões.

As atividades relativas ao encerramento do aterro sanitário foram discutidas no item 3 deste Capítulo.

5 AVALIAÇÃO DE ÁREAS PARA INSTALAÇÃO DE ATERROS SANITÁRIOS

Os estudos para a viabilização compreendem uma sequência de atividades para a identificação e a análise da aptidão de áreas para instalação de aterros sanitários.

Muitas vezes, porém, a Prefeitura já dispõe de algumas áreas cuja aptidão deseja avaliar (visando minimizar custos e evitar demoras com desapropriação, por exemplo). Tratam-se de áreas de sua propriedade, de áreas de interesse para recuperação (cavas de mineração, áreas de empréstimo, etc.) ou locais indicados por estudos anteriores.

Nessa fase, deve-se ter sempre em vista a importância das características dos meios físico, biótico e socioeconômico da área para instalação do aterro sanitário. Uma área adequada significa menores

riscos ao meio ambiente e à saúde pública, mas, fundamentalmente, significa menores gastos com preparo, operação e encerramento do aterro. Deste modo, escolhendo uma boa área, a Prefeitura estará prevenindo-se contra os efeitos da poluição dos solos e das águas subterrâneas do seu município, além de eventuais transtornos decorrentes de oposição popular e elevados custos futuros para operação e encerramento do local.

Os trabalhos de viabilização exigem, assim, a compatibilização de vários fatores, buscando-se o equilíbrio entre aspectos sociais, alterações no meio ambiente e custos decorrentes das opções anteriores e as inerentes ao empreendimento.

Parte-se de estudos gerais, identificando-se as várias áreas potenciais, sendo priorizadas as mais promissoras para estudos de detalhe. São necessárias, fundamentalmente, três etapas: levantamento de dados gerais, pré-seleção (escala regional) e estudos para a viabilização de áreas pré-selecionadas (escala local).

Três aspectos devem ser destacados, antes da discussão das atividades de viabilização de área e elaboração de projeto do aterro sanitário.

O primeiro é o caráter não-dissociado das atividades de viabilização de área e de elaboração de projeto do aterro sanitário. Na metodologia proposta, esta estreita inter-relação estará sempre presente.

Um segundo aspecto é a importância da manutenção da comunicação entre a municipalidade, o Órgão Estadual de Controle da Poluição Ambiental (OECPA) e a população. Mesmo que o município tenha segurança dos passos a serem seguidos, isto deve acontecer desde as fases iniciais do trabalho para que, futuramente, não seja necessária a reformulação dos trabalhos efetuados, com consequente aumento de custo e atrasos de cronograma. É essencial que o município se utilize da experiência do OECPA, agilizando os procedimentos e obtendo uma solução satisfatória para ambos. Da mesma forma, é importante que sejam abertos canais de participação efetiva da população, sobretudo colocando-se o problema na ótica de planejamento de longo prazo, evitando-se abordagens particularizadoras.

Finalmente, a execução do procedimento descrito a seguir não elimina a necessidade de proceder

o licenciamento ambiental do empreendimento (ver Capítulo VII – Legislação e Licenciamento Ambiental).

5.1 Levantamento de Dados Gerais

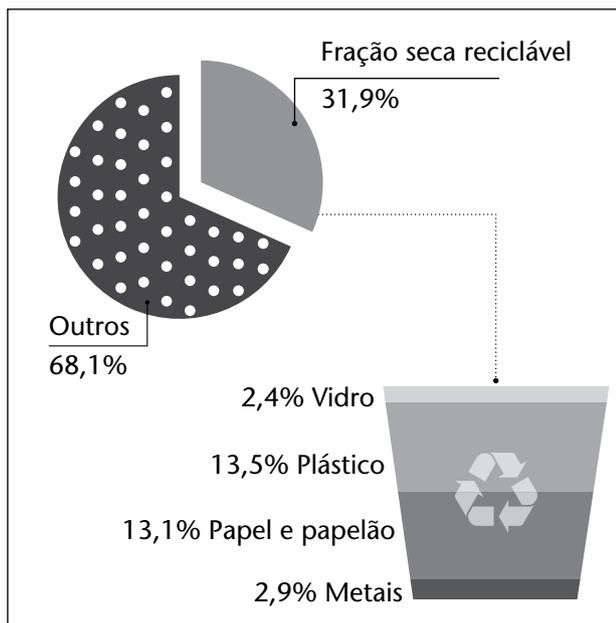
Nessa etapa pode-se lançar mão das informações existentes no acervo da Prefeitura ou de outros órgãos municipais ou estaduais, sobre os seguintes dados:

• Dados populacionais

São informações relativas à população do município, tais como número de habitantes atual, flutuante e projetado, e taxas de variação da população no período previsto para vida útil do empreendimento.

• Características do lixo

Determinação das contribuições dos diversos tipos de lixo e seus componentes de acordo com a fonte de produção, incluindo resíduos tratados em outros processos (compostagem, triagem, incineração, etc.), passíveis de serem lançados no aterro (Figura 12). Aspectos da caracterização dos resíduos sólidos municipais são tratados no Capítulo II – Origem e Composição do Lixo.



Fonte: CEMPRE Review 2015⁶

Figura 12 – Composição dos resíduos urbanos

• Dados da coleta e transporte atual do lixo

São levantados dados sobre o sistema atual de coleta e transporte do lixo do município, tais como tipos e características dos equipamentos utilizados; períodos e setores de coleta; abrangência do sistema de coleta; existência de áreas de transbordo; etc. (Figura 13).

• Resultados da etapa de levantamento de dados gerais

Várias estimativas da produção de lixo devem ser efetuadas, cruzando-se os dados populacionais (população permanente, flutuante e projetada) com as características do lixo e a eficiência do sistema de coleta.

A partir do volume de lixo gerado diariamente, calcula-se a chamada célula diária de lixo. As dimensões desta célula teórica são um indicador para o tipo de aterro a ser efetuado.

Assim, no caso de municípios menores, a pequena geração de lixo poderá mostrar que as dimensões da célula teórica do tradicional aterro operado em rampa são inviáveis de ser executadas na prática, podendo ser recomendado o aterro em valas.

5.2 Pré-Seleção de Áreas

Nesta fase, um conjunto de dados dos meios físico, biótico e socioeconômico deve ser analisado em escala regional para que sejam selecionadas várias áreas potencialmente aproveitáveis para instalação do aterro.

Normalmente, pouca atividade de campo é desenvolvida nesta etapa (limitando-se a vistorias de reconhecimento), lançando-se mão, o máximo possível, do acervo de informações já existente, conforme apresentado a seguir.



Figura 13 – Coleta e transporte do lixo

DIMENSÕES DA CÉLULA DIÁRIA DE LIXO (Cálculo Teórico)

As dimensões da célula de lixo podem ser estimadas pelas seguintes fórmulas:

$$h = \sqrt[3]{\frac{v}{p^2}}$$

$$l = b = \sqrt[3]{\frac{v}{h}} = \sqrt[3]{p \cdot v}$$

$$A = b^2 + 2bhp$$

sendo:

h = altura da célula (m);

V = volume de resíduos da célula (m³), igual à geração de lixo (t/dia) dividida pela densidade do lixo compactado (com valores médios de g em torno de 0,7 t/m³);

p = talude da rampa de trabalho (p = 3);

l = profundidade da célula (m);

b = frente de operação (m);

A = área a ser coberta com terra (m²).

Exemplo de Cálculo

	Quantidade de lixo gerada (t/dia)							
	5,0	10,0	20,0	40,0	80,0	100,0	200,0	300,0
g (t/m ³)	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
P	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0
V (m ³ /dia)	7,1	14,3	28,6	57,1	114,3	142,9	285,7	428,6
h (m)	0,9	1,2	1,5	1,9	2,3	2,5	3,2	3,6
b = l (m)	2,8	3,5	4,4	5,6	7,0	7,5	9,5	10,9
A (m ² /dia)	23,1	36,7	58,3	92,6	147,0	170,5	270,7	354,7

• **Dados geológico-geotécnicos**

São informações sobre as características e ocorrência de materiais que compõem o substrato dos terrenos (Figura 14). Os principais aspectos de interesse são: tipos de rocha que ocorrem na região (as menos permeáveis são preferíveis), distribuição das unidades geológico-geotécnicas que compõem o terreno e características estruturais (xistosidade, falhas e fraturas).

• **Dados pedológicos**

São informações sobre as características e distribuição dos solos na região estudada (Figura 15). Os principais aspectos de interesse são os tipos de solo que ocorrem na região e suas características como material de empréstimo (argilas para impermeabilização basal e cobertura final, solos silto-argilosos para cobertura diária e intermediária, areia, etc.).

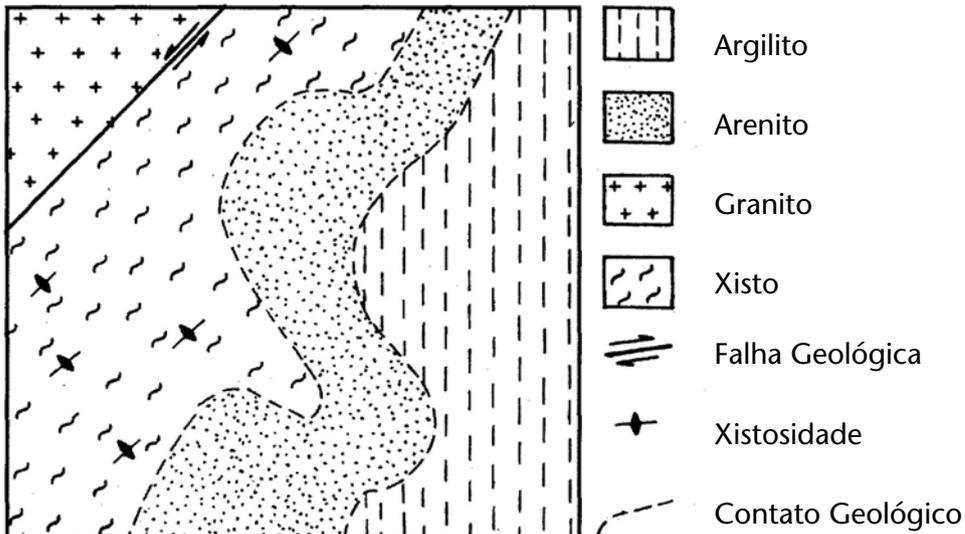


Figura 14 – Mapa geológico Escala 1 : 250.000

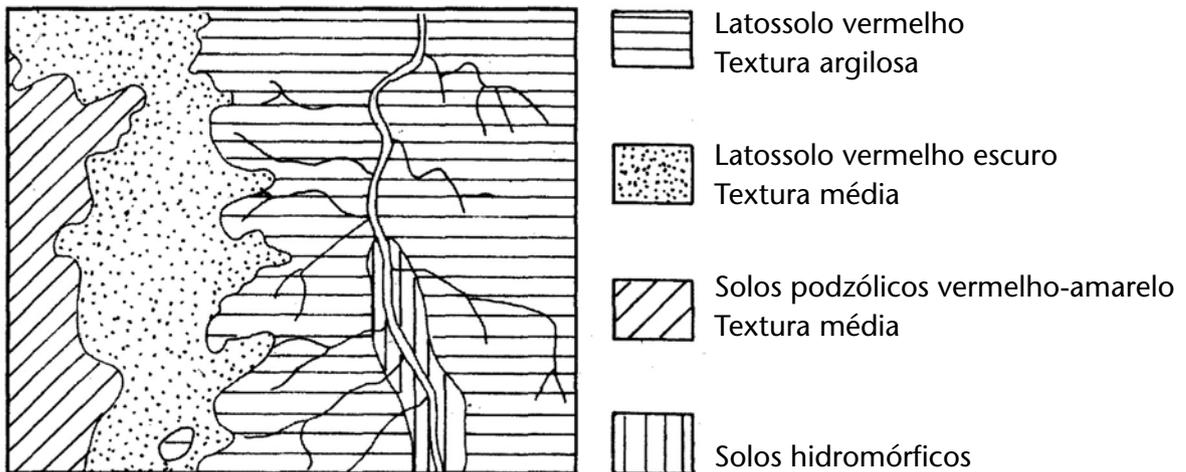


Figura 15 – Mapa pedológico Escala 1 : 250.000

• **Dados geomorfológicos**

Dizem respeito às informações sobre as formas e a dinâmica do relevo dos terrenos analisados (Figura 16). Os principais aspectos de interesse são: compartimentação geomorfológica e características das unidades que compõem o relevo (áreas de morros, colinas, planícies, encostas, etc.), a distribuição das unidades geomorfológicas, declividades e principais processos atuantes na região (erosão, escorregamento, inundação, subsidência, etc.).

• **Dados sobre as águas subterrâneas e superficiais**

Referem-se ao conjunto de informações sobre o comportamento natural da dinâmica e química das águas subterrâneas e superficiais de interesse para abastecimento público (Figura 17). São analisados aspectos como: profundidade do lençol freático, posicionamento quanto à zona de recarga das águas subterrâneas, e principais bacias e mananciais subterrâneos e superficiais de interesse ao abastecimento público (âmbito local e regional).

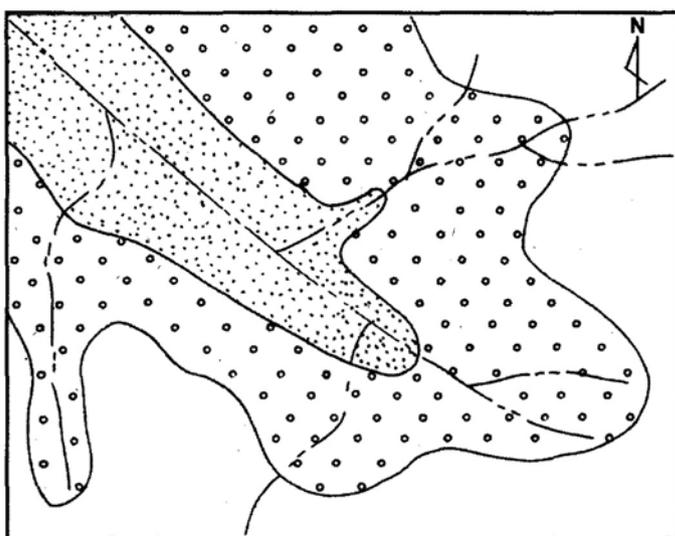


Figura 16 – Mapa geomorfológico

Escala 1 : 250.000

- Relevo plano*
- Planície aluvial
- Relevo ondulado*
- Colinas amplas
- Relevo ondulado*
- Morrotes alongados
- Cursos d'água

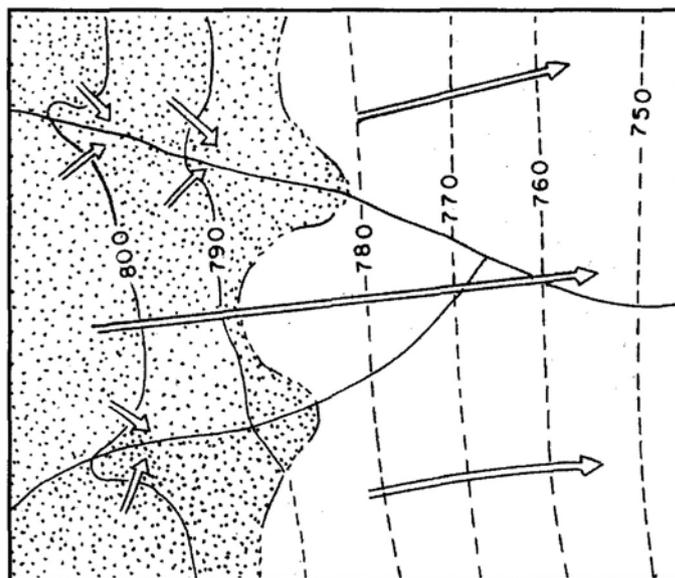


Figura 17 – Mapa hidrogeológico

Escala 1 : 250.000

- Zona aquífero freático (= zona de recarga)
- Zona aquífero confinado
- Limite entre zonas
- Rio
- Equipotencial (zona livre)
- Equipotencial (zona confinada)
- Linha de fluxo subterrâneo

• **Dados climatológicos**

Dizem respeito às informações sobre chuvas, temperaturas e ventos, de interesse para as estimativas de geração de percolado, dimensionamento dos sistemas de águas pluviais e dispersão de gases, poeira, ruído e odores (Figura 18). Os principais aspectos de interesse são: regime de chuvas e precipitação pluviométrica histórica, direção e intensidade dos ventos, evaporação e evapotranspiração.

• **Dados sobre a legislação**

Referem-se às informações sobre as leis ambientais federais, estaduais e municipais e outros condicionantes do ponto de vista da legislação (ver Capítulo VII – Legislação e Licenciamento Ambiental). No caso de aterros sanitários, os principais aspectos de interesse são: delimitação das áreas de proteção ambiental, áreas de proteção de mananciais, parques, reservas e áreas tombadas e zoneamento urbano do município (Figura 19).

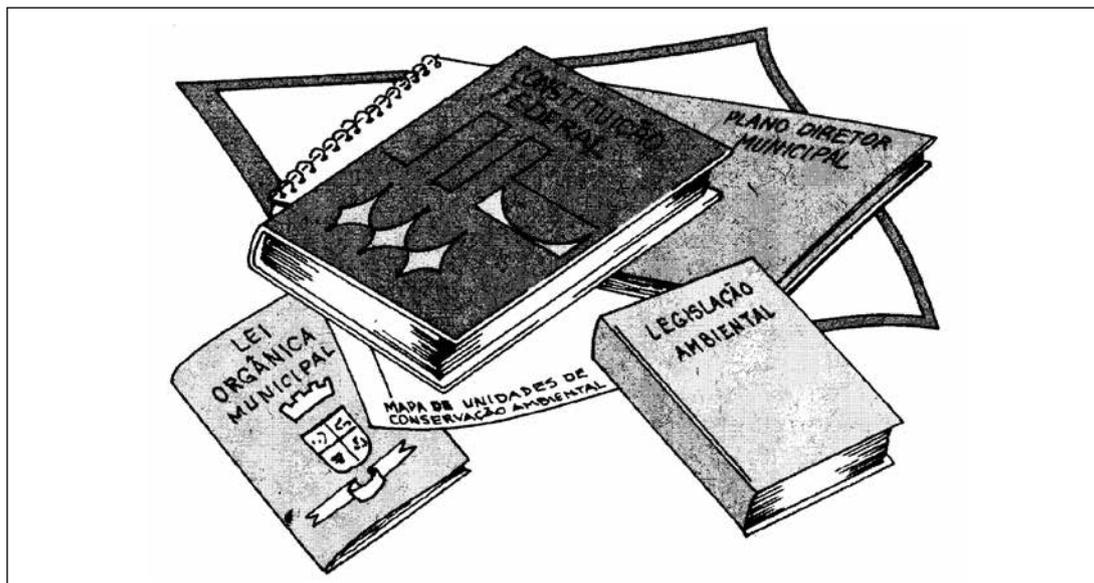
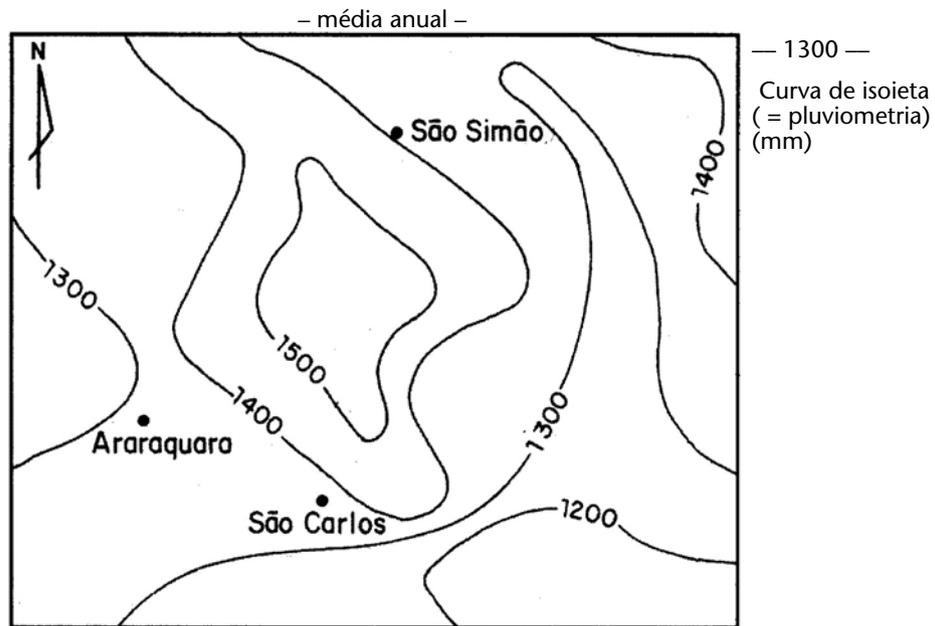


Figura 19 – Legislação atual

• **Dados socioeconômicos**

Estes dados referem-se às informações de cunho social e econômico que podem ser traduzidas em condicionantes para as decisões técnico-políticas de escolha de áreas para instalação de aterros sanitários. São de interesse aspectos como: uso e ocupação dos terrenos (Figura 20), valor da terra, distâncias em relação aos centros atendidos, integração à malha viária, infraestrutura básica e aceitabilidade da população e de suas entidades organizadas.

• **Resultados da etapa de pré-seleção**

A ponderação dos diversos dados considerados e a análise integrada destes permitem a identificação das zonas mais propícias a recepcionar o empreendimento, nas quais, por meio de vistorias de campo, serão individualizadas as áreas candidatas à instalação do aterro.

As informações sobre as áreas pré-selecionadas podem ser dispostas de forma similar à proposta no Quadro 2. Estas informações são então comparadas com

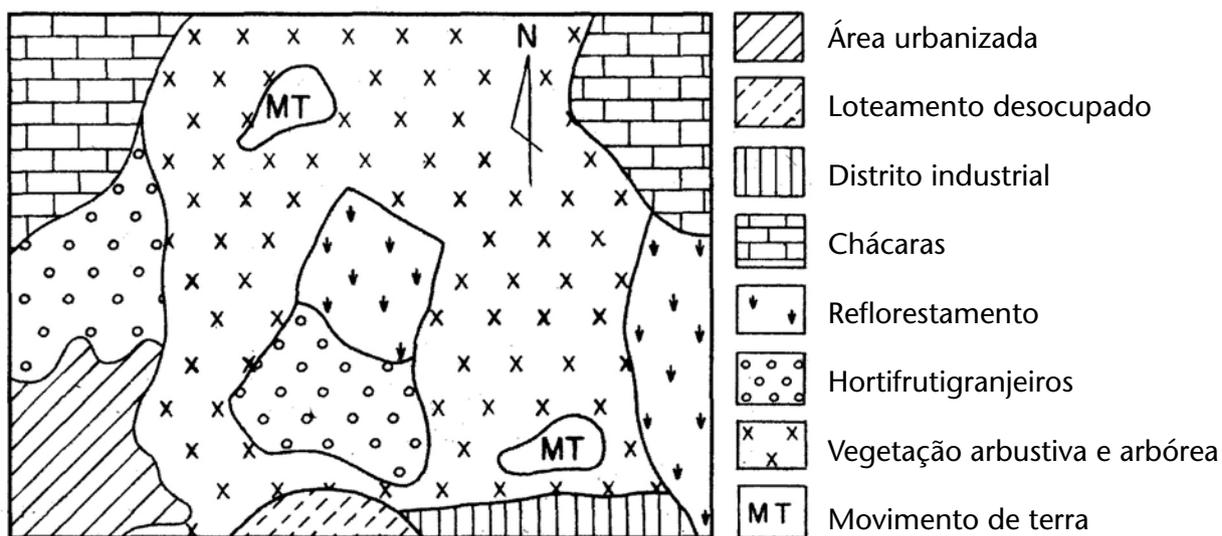


Figura 20 – Mapa de uso e ocupação do solo Escala 1 : 250.000

Quadro 2 – Dados para avaliação de áreas para instalação de aterros sanitários (fase de pré-seleção de áreas)

DADOS NECESSÁRIOS	ÁREAS DISPONÍVEIS		
	Área 1	Área 2	Área 3
Vida útil			
Distância ao centro atendido			
Zoneamento ambiental			
Zoneamento urbano			
Densidade populacional			
Uso e ocupação do terreno			
Valor da terra			
Aceitabilidade da população e de entidades ambientais não governamentais			
Declive do terreno			
Distância aos cursos d'água (córregos, nascentes, etc.)			

aquelas apresentadas no Quadro 3 de modo que se possa classificá-las 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.

Caso várias áreas sejam classificadas como Recomendada ou Recomendada com restrições, sugere-se sua priorização, sendo executada a próxima etapa em apenas três delas, tendo em vista os custos daqueles trabalhos.

Se, ao contrário, todas as áreas disponíveis forem avaliadas como inviáveis, o processo deverá ser revisto e re-executado, até que áreas adequadas sejam obtidas.

Nesta fase, é importante o contato formal com o OECPA para a avaliação dos resultados preliminares e obtenção de orientações específicas quanto à instalação do aterro sanitário. Dependendo do contexto, e a critério do OECPA, poderá ser procedida investigação detalhada em apenas um local dentre as áreas pré-selecionadas.

5.3 Viabilização das Áreas Pré-Selecionadas

Nesta fase, são fundamentais os trabalhos de campo, com o detalhamento do levantamento de dados do meio físico, com observações de superfície e investigações de subsuperfície. Informações dos meios biótico e socioeconômico também deverão ser consubstanciadas.

Quadro 3 – Critérios para priorização das áreas para instalação de aterro sanitário (fase de pré-seleção de áreas)

Dados necessários	CLASSIFICAÇÃO DAS ÁREAS		
	Possível	Adequada	Não recomendada
<i>Vida útil</i>	<i>Maior que 10 anos</i>	<i>Menor que 10 anos (a critério do órgão ambiental)</i>	
Distância ao centro atendido	5-20 km		Menor que 5 km Maior que 20 km
Zoneamento ambiental	Áreas sem restrições no zoneamento ambiental		Unidades de conservação 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
Declive do terreno (%)	3 £ declividade £ 20	20 £ declividade £ 30	Declividade < 3 ou declividade > 30
Distância aos cursos d'água (córregos, nascentes, etc.)	Maior que 200 m	Menor que 200 m com aprovação do órgão ambiental responsável	

As técnicas de investigação do meio físico utilizadas são aquelas tradicionais na Geologia de Engenharia, definidas dentre as seguintes:

- a) *técnicas indiretas*: interpretação de fotografias aéreas e utilização de métodos geofísicos (sísmica, sondagem elétrica vertical, etc.);
- b) *técnicas diretas*: execução de sondagens manuais (trados e percussão) ou mecânicas (rotativa), ensaios *in situ* (ensaios de bombeamento, de infiltração, etc.) ou em laboratório (análises físico-químicas da água, granulometria, limites de Atterberg, permeabilidade, compactação dos solos, etc.), vistorias, perfis, contagens, etc.

O primeiro passo é o levantamento detalhado dos dados de interesse sobre as áreas pré-selecionadas

das existentes no acervo da Prefeitura, outros órgãos e também obtidos de obras executadas nos arredores, tais como dados de poços tubulares profundos, dados de sondagens em construções, rodovias, etc.

Na sequência, é executado o detalhamento de campo, combinando as técnicas de investigação descritas anteriormente de modo a compor o conjunto de dados relacionados a seguir.

• **Dados de infraestrutura**

Compreendem as informações sobre a localização e as condições de acesso das áreas pré-selecionadas na etapa anterior em relação ao centro atendido (Figura 21).

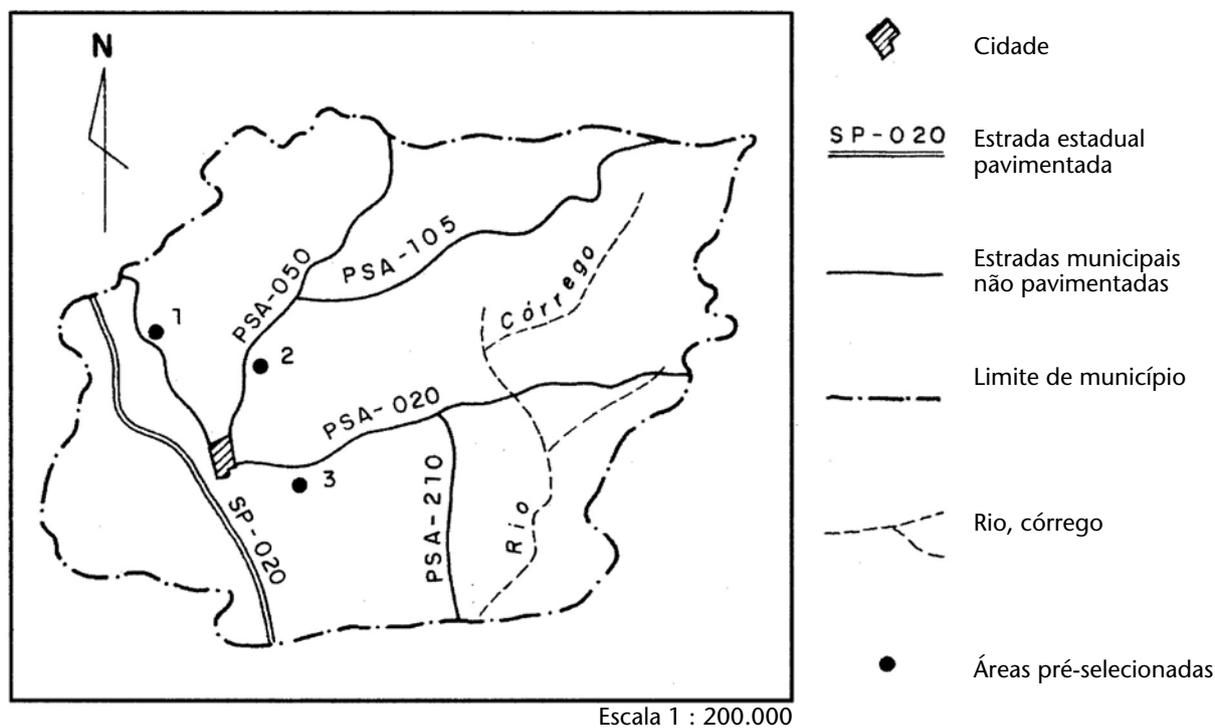


Figura 21 – Mapa cadastral das estradas e áreas pré-selecionadas

• **Dados geológico-geotécnicos**

Referem-se à determinação dos parâmetros relacionados ao meio físico (solo e rochas) que permitam identificar a melhor área para instalação do aterro. São efetuadas determinações do perfil geológico-geotécnico (Figura 22) e da permeabilidade do

solo, avaliadas a capacidade de carga e deformabilidade do terreno de fundação, as condições de estabilidade do maciço e adjacências, a suscetibilidade do terreno à erosão, e efetuada a caracterização dos materiais de empréstimo (cobertura e impermeabilização de base).

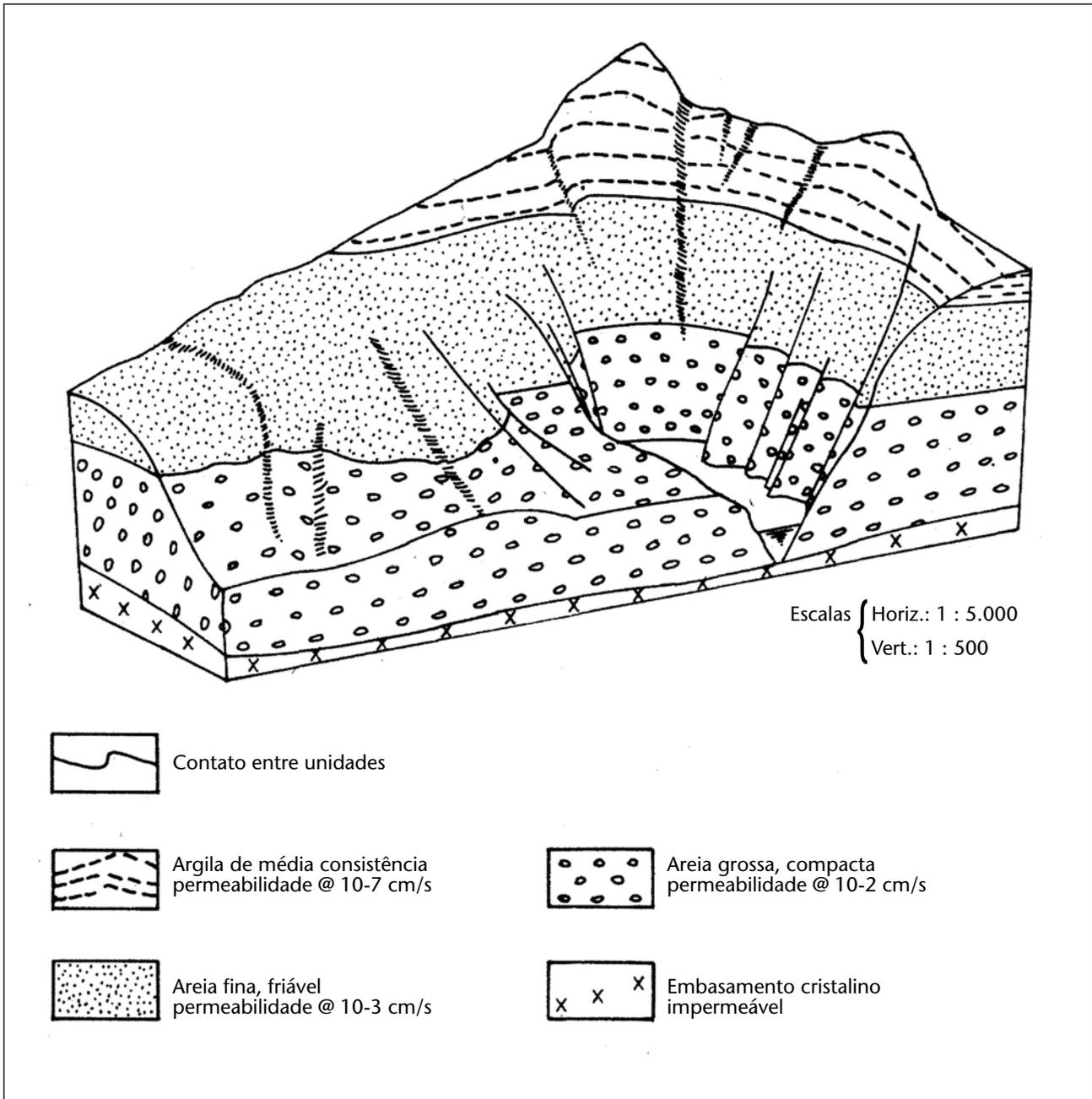


Figura 22 – Perfil geológico-geotécnico

• **Dados hidrogeológicos**

Referem-se à determinação dos parâmetros relacionados ao comportamento da água subterrânea (Figura 23), que permitem subsidiar a escolha da área para o aterro sanitário e auxiliar na redução das interferências sobre as águas subterrâneas. Desse levantamento são obtidos dados referentes

a profundidade do lençol freático, padrão de fluxo subterrâneo, gradientes hidráulicos subterrâneos e parâmetros hidráulicos do aquífero, assim como a avaliação de amplitude da variação regional do lençol freático de acordo com as estações do ano, qualidade das águas subterrâneas e riscos de contaminação do aquífero.

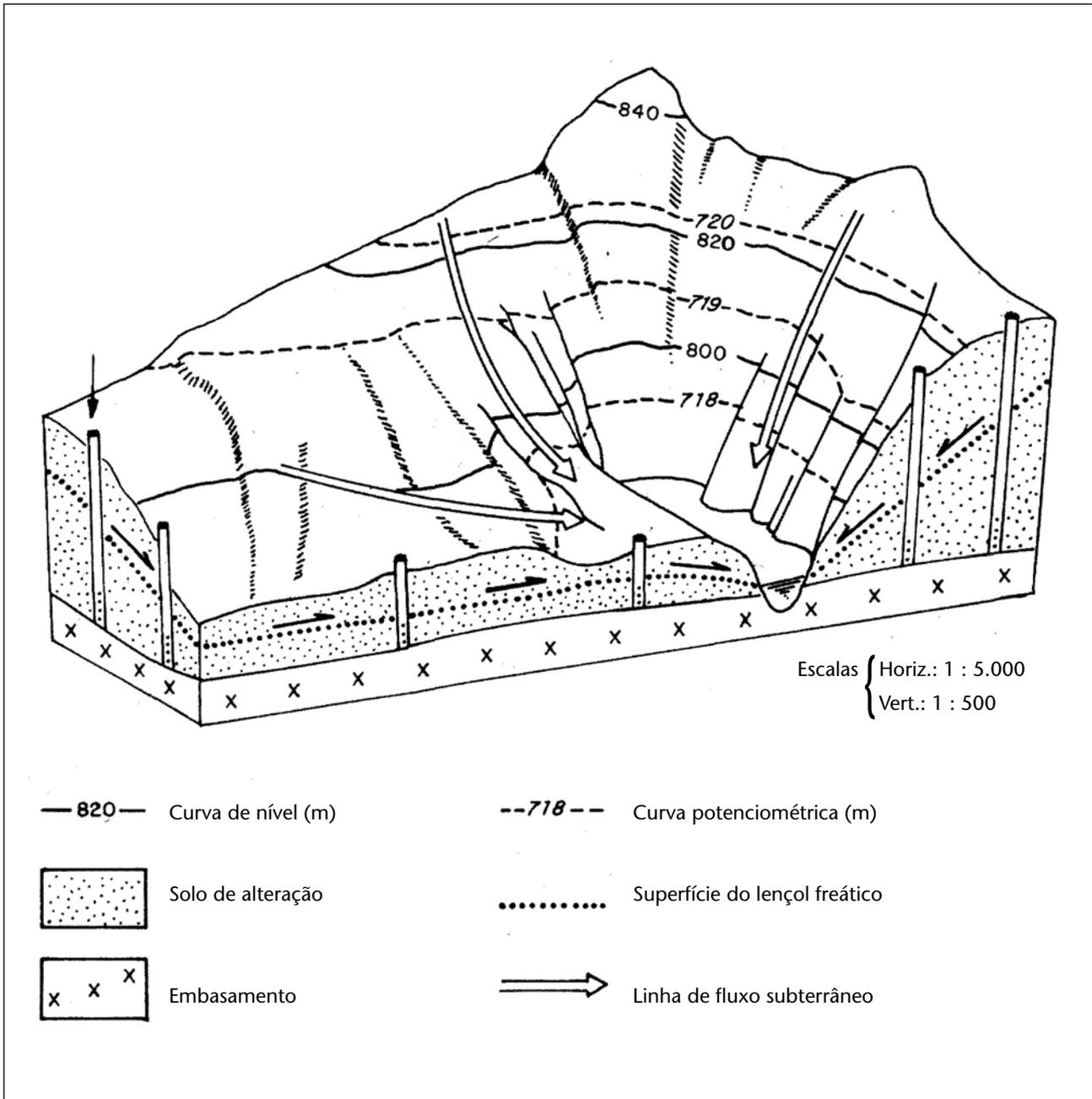


Figura 23 – Informações hidrogeológicas

• **Meio biótico**

Refere-se à identificação do contexto em que as áreas se inserem do ponto de vista de fauna e flora. São avaliadas as principais formações vegetais presentes e seu estágio atual e os espécimes animais associados (sobretudo espécies ameaçadas e/ou em extinção). Os ambientes aquáticos circundantes também são alvo de consideração especial.

Os trabalhos podem incluir vistorias e execução de perfis, coleta de amostras para análises laboratoriais, contagem de espécies, etc.

• **Meio socioeconômico**

São detalhados os aspectos de uso do solo nos entornos, custos intrínsecos à opção locacional (desapropriação, transporte de lixo e insumos, necessidades de projeto, vida útil, etc.) e analisadas em detalhe as possíveis repercussões e implicações da potencial instalação do empreendimento.

• **Resultados dos estudos para a viabilização das áreas pré-selecionadas**

A análise e a interpretação das informações coletadas determinarão qual das áreas é a tecnicamente mais indicada para a instalação do aterro sanitário, considerando-se os aspectos de legislação, ambientais e financeiros.

Basicamente, o que se deseja é identificar, dentre as áreas pré-selecionadas, aquela que melhor possibilite:

- a) menor potencial para geração de impactos ambientais:
 - estar fora de áreas de restrição ambiental;
 - aquíferos menos permeáveis;
 - solos mais espessos e menos sujeitos aos processos da dinâmica superficial (erosão, escorregamentos, colapsos, etc.);
 - declividade apropriada;
 - menor influência com fauna e flora;
 - menor influência com vizinhança;
 - distante de habitações, cursos d'água e rede de alta tensão.

- b) maior vida útil para o empreendimento, ou seja, máxima capacidade de armazenamento de lixo.
- c) baixos custos de implantação e operação:
 - menores gastos com infraestrutura;
 - menor distância da zona urbana geradora de resíduos;
 - projeto menos complexo;
 - disponibilidade de material de empréstimo.

Do resultado final deverão constar: descrição do local recomendado, suas justificativas e providências necessárias à sua correta utilização.

É aconselhável, ainda, que ao final destes procedimentos se execute uma retroanálise, ou seja, uma checagem completa para confirmar se a área indicada atende aos critérios propostos (e de outros que possam ser apresentados dentro do contexto ambiental e legal) ou, em caso negativo, se é tecnicamente possível (por técnicas comprovadas e aceitas) e economicamente factível (ao empreendedor) a adoção de medidas de projeto para eliminar suas eventuais deficiências.

Caso nenhuma área satisfaça estas condições, o processo de seleção deverá ser revisto e re-executado até que áreas passíveis de utilização sejam obtidas.

Definido o local, o Poder Público Municipal poderá dar prosseguimento aos procedimentos para o licenciamento ambiental do empreendimento (ver Capítulo VII – Legislação e Licenciamento Ambiental).

6 PROJETO DE ATERRO SANITÁRIO EM ÁREAS NOVAS

6.1 Concepção Técnica

O conceito de aterro sanitário deve ser entendido como o local onde o lixo deve ser purificado, minimizando o impacto negativo ao meio ambiente. Esta concepção moderna de aterros sanitários decorre de aspectos como não-disponibilidade de áreas, aumento dos volumes e preocupação ambiental crescente.

Cresce também, sobretudo nos países desenvolvidos, a tendência de disposição somente do que se chama "resíduo último", ou seja, para os aterros

sanitários só deverão seguir aqueles resíduos que já tiveram esgotada sua possibilidade de tratamento, aproveitamento e reciclagem.

Estas idéias afastam-se da tradicional cobertura do lixo e sua longa digestão anaeróbia, eventualmente secular, constituindo-se em fonte contínua de poluição. Deseja-se tirar do lixo algum proveito, acelerando a sua inertização, minimizando e recuperando as áreas de disposição. Assim, busca-se quebrar o ciclo unicamente acumulativo do lixo, que polui o solo, a água e o ar, e impede o uso futuro mais nobre das áreas dos aterros sanitários.

A concepção do aterro sanitário como local de tratamento requer a avaliação das alternativas e sistemas disponíveis. Nesse aspecto, pode-se distinguir quatro linhas principais de tratamento nos aterros sanitários: digestão anaeróbia, digestão aeróbia, tratamento biológico e digestão semianaeróbia (Figura 24).

6.1.1 Tratamento por digestão anaeróbia

A digestão anaeróbia pura e simples é considerada apenas uma forma sanitária de tratamento, já que a inertização do lixo (término das reações orgânicas, alcançando-se o estágio de mineralização) poderá demorar dezenas de anos. Esta concepção tem sido aplicada no Brasil e nos Estados Unidos.

6.1.2 Tratamento por digestão aeróbia

A alternativa da digestão aeróbia tem sido apontada como a que traz as maiores vantagens para a decomposição do lixo. Apenas não é usada de uma maneira generalizada devido a seus maiores custos diretos, comparada com a anaeróbia.

A desvantagem do processo aeróbio reside na necessidade de injetar ar no lixo, operando-se sistemas de controle e bombeamento, com elevados custos diretos e indiretos.

As vantagens do processo aeróbio sobre o processo anaeróbio são ilustradas no Quadro 4.

6.1.3 Tratamento biológico

O tratamento biológico do lixo como forma de aceleração do processo de decomposição da matéria orgânica tem sido objeto de estudos teóricos e acadêmicos. Esta alternativa demanda tecnologia de processo relativamente complexa e controle rigoroso em todas as suas fases, necessitando equipe especializada para operação.

O tratamento acelerado do lixo mediante decomposição biológica em células-reatoras transforma a fração orgânica sólida do material alterado em líquidos e gases que devem ser coletados e tratados.

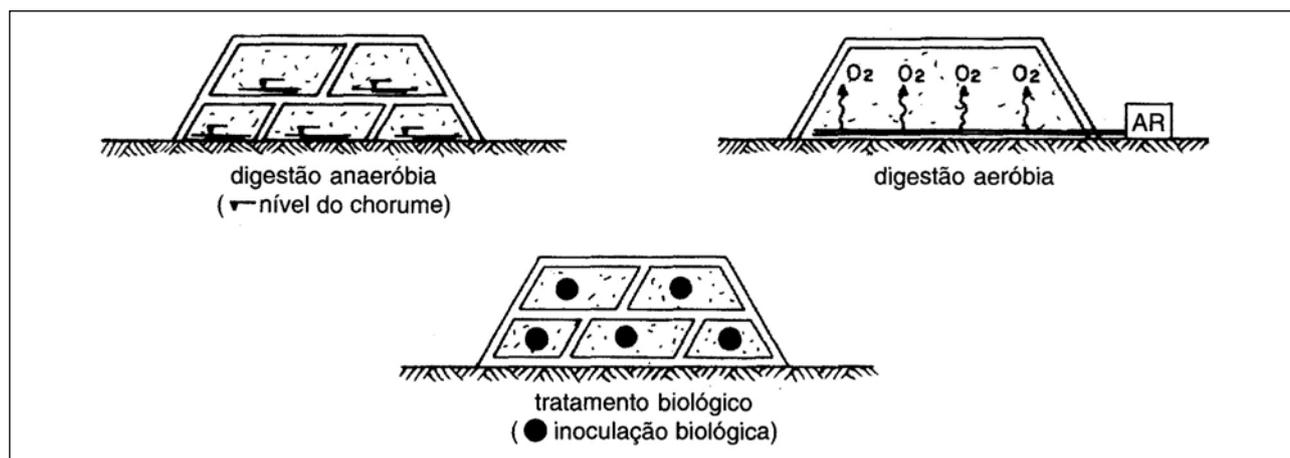


Figura 24 – Processos de tratamento dos resíduos

Quadro 4 – Vantagens do processo aeróbio sobre o processo anaeróbio

Fatores	Vantagens
Percolado	Menores níveis de DBO* e DQO**, facilitando tratamentos finais destes líquidos
Formação de gases	Não-formação de biogás (CH ₄)
Estabilização	Decomposição mais rápida do lixo
Drenagem de líquidos e gases	Melhores condições de drenagem com benefícios para a estabilidade mecânica do aterro

***Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO):** medida da quantidade de oxigênio consumida pelos microorganismos durante a oxidação da matéria orgânica presente na água residuária (percolado, no caso). Quanto maior o grau de contaminação, maior a DBO.

****Demanda Química de Oxigênio (DQO):** medida da quantidade de oxigênio consumida durante a oxidação química da matéria orgânica presente na água ou água residuária (percolado, no caso). Em geral, a DQO é maior que a DBO e nem sempre é possível correlacioná-las.

Ao final, há a possibilidade de reabertura das células de lixo, segregação dos compostos orgânicos e destinação final dos resíduos (inertes). Assim, o aterro sanitário transforma-se em um local para tratamento, podendo ter, inclusive, seu volume de resíduos minimizados mediante técnicas de separação de recicláveis e disposição dos inertes em local específico.

Essa técnica tem sido aplicada na América do Norte e em alguns países da Europa. No Brasil, os primeiros experimentos em dimensões e condições reais de operação foram iniciados na última década (os resultados destes, porém, não foram positivos).

6.1.4 Tratamento por digestão semiaeróbia

Como alternativa às dificuldades apresentadas pelo processo aeróbio, existe uma corrente tecnológica que apresenta a concepção de digestão semiaeróbia. Essa concepção procura eliminar as desvantagens de implantação e de operação de sistemas forçados de insufladores de ar no lixo, adotando diretrizes preventivas de projeto, privilegiando sistemas de drenagem de biogás e de percolados, e a aeração natural por convecção.

Deste modo, elimina-se a principal desvantagem do processo aeróbio, que é o custo, e absorve-se todas as suas vantagens com pouco ou quase nenhum prejuízo para o tempo de decomposição da matéria orgânica.

Esta alternativa de digestão tem sido usada no Japão, podendo também ser implementada por meio de técnicas de abertura das células e segregação dos materiais em composto orgânico e inertes

como no tratamento biológico. Entretanto, deve-se estar alerta para a grande diferença de materiais aterrados nesse país (com predomínio de cinzas de incineração) em relação aos do Brasil. As condições de DBO dos nossos percolados podem ensejar colmatação (entupimento por deposição de materiais) dos sistemas de drenagem submetidos a entrada de ar, devendo ser previstas soluções de projeto.

Definindo-se a concepção de tratamento mais adequada ao caso em análise (e, obviamente, em acordo com as orientações do OECPA), procede-se à elaboração do projeto do aterro sanitário para o local escolhido, definindo-se as diversas instalações, sistemas e esquemas de operação necessários.

Qualquer que seja a concepção adotada, deve-se incluir medidas de proteção ambiental e monitorização de maneira a garantir-se as condições da obra durante as três fases do empreendimento: implantação, operação e fechamento.

6.2 Dimensionamento do Aterro Sanitário

O dimensionamento do aterro sanitário depende de:

- **Quantidade e tipologia dos resíduos a serem dispostos**

O volume de resíduos sólidos a ser disposto no aterro sanitário é fator preponderante para o dimensionamento da área para disposição. A projeção dos volumes futuros e dos tipos de resíduo deve ser cuidadosamente realizada para que a área definida possibilite vida útil de operação de dez anos no mínimo.

A projeção dos volumes futuros deve ser cuidadosamente realizada. As pesagens periódicas são a melhor forma de se conhecer as quantidades de lixo geradas, bem como as suas flutuações decorrentes das características específicas de cada comunidade.

Os resíduos a serem dispostos devem ser de origem predominantemente domiciliar e/ou rejeitos oriundos de tratamento de usina de triagem/compostagem.

Os resíduos dos serviços de saúde devem ser incinerados (ou tratado por outro processo tecnológico aprovado pelo OECPA). Caso tais condições não existam, poderá ser avaliada, com o OECPA, a alternativa de disposição em valas especialmente projetadas para este fim, instaladas em porção específica da área de domínio do aterro sanitário.

• **Características fisiográficas e ambientais**

A caracterização fisiográfica e ambiental da área selecionada para disposição é um fator básico para o dimensionamento do aterro sanitário, principalmente porque este fator influi diretamente na implantação e no desempenho da operação do empreendimento. O conteúdo destes estudos foram apresentados no item 5 deste Capítulo.

Em relação às características geológico-geotécnicas, o local onde será implantado o aterro sanitário deverá apresentar solo homogêneo, impermeável e profundidade do lençol freático tal que não cause danos ambientais ao meio. A norma NBR 13896³ estabelece que:

- idealmente, o local deverá apresentar manto de solo homogêneo de 3,0 m de espessura com coeficiente de permeabilidade $K = 10^{-6}$ cm/s;
- poderá ser considerada aceitável uma distância mínima, entre a base do aterro e a cota máxima do aquífero freático, igual a 1,5 m, para um coeficiente de permeabilidade $K = 5 \times 10^{-5}$ cm/s. Nesse caso, ainda a critério do OECPA, poderá ser exigida uma impermeabilização suplementar, visando maior proteção ao aquífero freático;
- em áreas com predominância de solos com coeficiente de permeabilidade menores ou iguais a $K = 10^{-4}$ cm/s, não é recomendada

a construção de aterros, mesmo utilizando-se impermeabilizações complementares.

São características desejáveis para o solo, a ser utilizado como camada de impermeabilização de base do aterro, possuir limite de liquidez (LL) igual ou superior a 30% e índice de plasticidade igual ou superior a 15%⁴.

• **Uso futuro da área a aterrar**

No projeto de aterro sanitário deve ser previsto o uso futuro da área que será aterrada com resíduos sólidos, o qual dependerá da concepção de aterro sanitário adotada. As alternativas pobres em tratamento, ou com a simples disposição do lixo, definirão comportamentos mecânicos diferenciados para as massas de lixo ali depositadas, por longos períodos (em média, de dez a vinte anos após o término da disposição de resíduos no local). Nas situações em que a degradação é acelerada ou o tratamento do lixo foi privilegiado, a área disponível estará em um menor intervalo de tempo e o uso poderá ser mais diversificado ou com menores restrições.

6.3 Componentes do Projeto

Os estudos devem ser orientados de maneira a detalhar os seguintes itens do projeto: concepção do tratamento dos resíduos, sistema de operação do aterro, drenagem de fundação, impermeabilização da base do aterro, cobertura final, drenagem de águas pluviais, drenagem de líquidos percolados, drenagem de biogás, análise de estabilidade dos maciços de terra e lixo, sistema de tratamento de percolados, sistema de monitorização e fechamento do aterro.

A Figura 25 apresenta os principais constituintes de um aterro sanitário em rampa.

6.3.1 Sistema de tratamento dos resíduos a serem dispostos

O sistema tem a função de orientar a concepção de projeto do aterro sanitário, incorporando alternativas tecnológicas adequadas ao tratamento dos resíduos sólidos de modo a cumprir sua função sanitária e ambiental. Esse sistema deverá garantir a manutenção da qualidade de vida no entorno do aterro com mínimas influências para o meio ambiente.

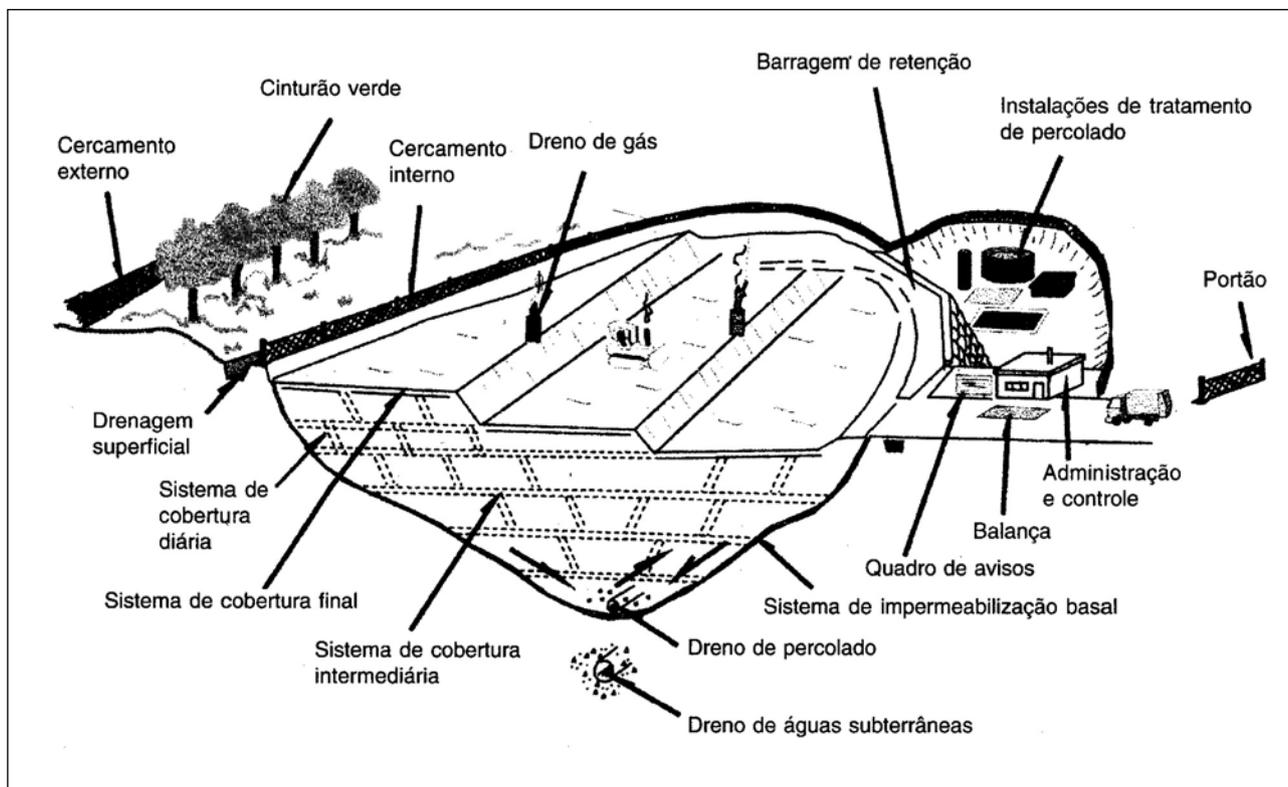


Figura 25 – Perfil esquemático de aterro sanitário em rampa

As alternativas de concepção técnica do sistema de tratamento foram expostas no item 6.1 deste Capítulo.

O projeto deverá especificar processos e métodos para garantir a função do aterro sanitário em todas as suas fases de existência.

6.3.2 Sistema de operação do aterro sanitário

O processo de aterramento do lixo é executado sob uma das três formas tradicionalmente empregadas: método da trincheira ou vala, método da rampa e método da área (Figura 26).

- *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 pequena (operação manual) ou de grande 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 lixo é disposto e compactado pelo trator e posteriormente coberto com solo. É empregado em áreas de meia encosta, onde o solo natural oferece 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 e geográficas da área e da quantidade de lixo a dispor.

Para informações adicionais acerca da operação do aterro sanitário, consulte o item 4.4 deste Capítulo.

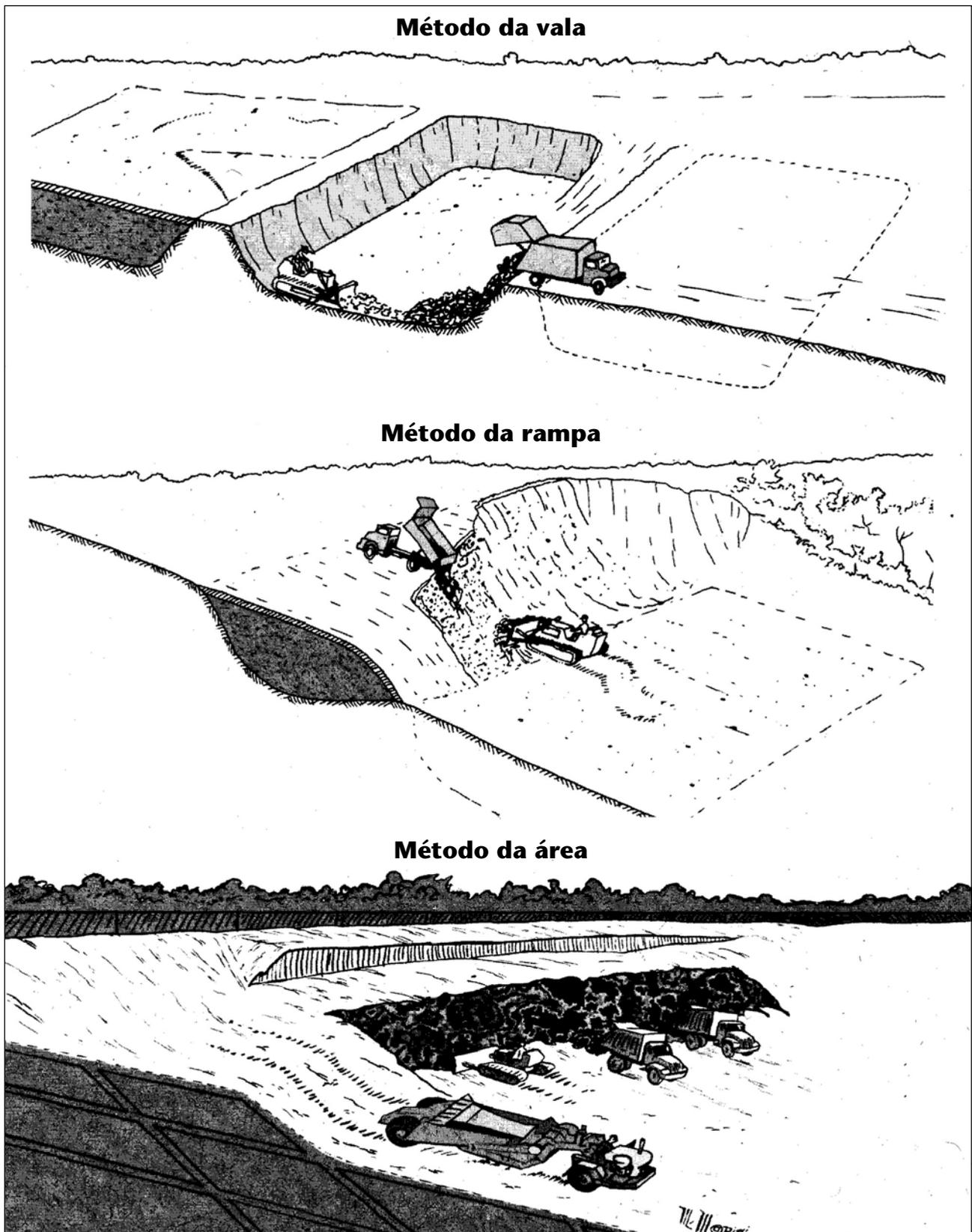


Figura 26 – Métodos de aterramento

ATERRO EM VALAS PARA PEQUENAS QUANTIDADE DE LIXO

No caso de municípios menores, que geram até cerca de 10 t/dia, o sistema de operação normalmente indicado é o de aterro sanitário em valas, que requer menos recursos financeiros para sua construção e dispensa a presença intensiva de equipamentos para sua operação.

Nas escavações das valas, podem ser utilizados quaisquer dos equipamentos que tenham capacidade de escavação desde que obedecidas as recomendações do projeto. Normalmente, o operador delimita a vala (conforme dimensionada em projeto) e executa a escavação com o auxílio de uma retroescavadeira, acumulando o solo removido sobre uma das laterais da vala.

Os resíduos devem ser descarregados pelo lado livre, sem o ingresso dos veículos no seu interior, iniciando-se por uma das extremidades da vala. Recomenda-se que os resíduos sejam descarregados em um único trecho, até que esteja totalmente preenchido. À medida que são depositados, os resíduos são manualmente nivelados e cobertos (com o solo previamente anteriormente acumulado) com a finalidade de impedir o arraste de materiais pela ação do vento, evitar a proliferação de moscas, roedores e outros vetores de doença e evitar o aspecto antiestético do lixo exposto. Assim que o primeiro trecho da vala estiver totalmente preenchido, passa-se para outro, repetindo-se as mesmas operações. O nivelamento final da vala deverá ficar em cota superior à do terreno, prevendo-se prováveis recalques.

Após o completo aterramento da vala, se o município dispuser de equipamentos, poderá ainda, promover uma melhor compactação dos resíduos, passando-o diversas vezes sobre o local aterrado. Quando não houver esta possibilidade, a abertura da vala seguinte deverá ser realizada de tal forma que o solo de escavação seja acumulado sobre as valas já aterradas, acelerando-se os recalques e impondo certa compactação aos resíduos.

6.3.3 Sistema de drenagem de fundação

Sob o sistema de tratamento de base do aterro sanitário poderá ser conveniente, dependendo da profundidade do nível d'água e de sua variação sazonal, projetar-se um sistema de drenagem de função para a coleta de águas naturais do subsolo. Esse sistema deverá também ser acessado pelo sistema de monitorização ambiental de maneira a atestar as suas condições de desempenho tanto durante a vida útil como após o fechamento do aterro.

6.3.4 Sistema de impermeabilização de base do aterro

O sistema de tratamento de base tem a função de proteger a fundação do aterro, evitando-se a

contaminação do subsolo e aquíferos subjacentes pela migração de percolados e/ou biogás.

No caso em que as condições naturais sejam totalmente favoráveis e seguras ambientalmente, poderá ser dispensada a presença desse sistema, com o solo natural cumprindo essa função (ver item 6.2 deste Capítulo).

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.

Dentre os materiais comumente empregados em tratamento de base de aterros, destacam-se os solos argilosos e argilas compactadas e as geomembranas sintéticas. As camadas impermeabilizantes devem ser executadas com controle tecnológico e atender a características tecnológicas de permeabilidade e espessuras mínimas especificadas em norma de modo a representar barreiras à migração de poluentes contidos no percolado.

Pela experiência obtida em países como Estados Unidos e Alemanha, e também no Brasil, o tipo de geomembrana que tem se mostrado mais adequado para a impermeabilização de base de aterros sanitários é a de polietileno de alta densidade (HDPE), devido às suas características de resistência mecânica, durabilidade e compatibilidade com uma grande variedade de resíduos. Também tem sido utilizada as geomembranas de PVC.

É importante enfatizar que nos processos de impermeabilização a garantia de qualidade não fica atestada apenas pela definição de materiais, mas, sim, com adequado projeto de aplicação e controle tecnológico de execução.

6.3.5 Sistema de cobertura dos resíduos

O sistema de cobertura (diária, intermediária e final) tem a função de proteger a superfície das células de lixo (minimizando impactos ao meio ambiente),

eliminar a proliferação de vetores, diminuir a taxa de formação de percolados, reduzir a exalação de odores, impedir a catação, permitir o tráfego de veículos coletores sobre o aterro, eliminar a queima de resíduos e a saída descontrolada do biogás (Figura 27).

Entre outras características, o sistema de cobertura deverá ser resistente a processos erosivos e adequado à futura utilização da área.

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 (± 1 mês), aguardando, por exemplo, a conclusão de um patamar para início do seguinte.

No caso da cobertura final (Figura 27), o uso de proteção vegetal é recomendado, procurando-se integrar o empreendimento ao meio ambiente local. A instalação de vegetação sobre a camada de cobertura final é ainda importante por aumentar a evapotranspiração, diminuindo a quantidade de chuva que se infiltra e, conseqüentemente, a quantidade de percolado gerada.

Os materiais componentes do sistema de cobertura final deverão ser especificados de maneira a atender aos requisitos técnicos acima. Além disso, a garantia de bom desempenho dependerá também de controle tecnológico durante a execução.

É necessário prever a manutenção desse sistema de cobertura mesmo após a vida útil do aterro, garantindo suas características de projeto.

No caso dos aterros em valas, o material utilizado na cobertura final poderá ser o mesmo material proveniente da escavação das valas (desde que este atenda aos requisitos técnicos especificados).

6.3.6 Sistema de drenagem de águas pluviais

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

O dimensionamento da rede de drenagem é dependente, principalmente, da vazão a ser drenada. A metodologia utilizada segue a prática usual de drenagem urbana. Em se tratando de bacias de pequena área de contribuição (geralmente inferiores a 50

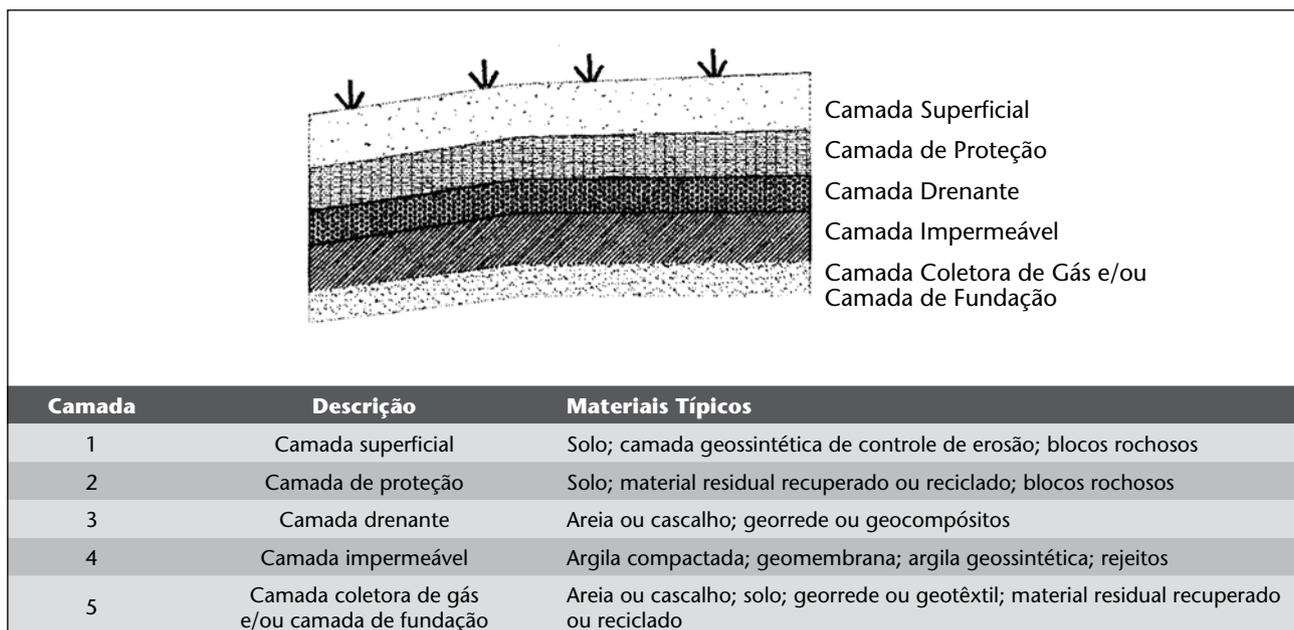


Figura 27 – Componentes de uma camada de cobertura final em aterro sanitário

ha), pode ser utilizado o Método Racional, expresso pela equação:

$$Q = C \times i \times A$$

sendo:

Q = vazão a ser drenada na seção considerada (m³/s);

C = coeficiente de escoamento superficial (tabelado; função do tipo de cobertura do solo e declividade) (Adimensional);

A = área da bacia contribuinte (m²);

i = intensidade da chuva crítica (m/s).

Nos aterros, em geral, o sistema de drenagem de águas pluviais é constituído por estruturas drenantes de meias canas de concreto (canaletas) associadas a escadas d'água e tubos de concreto.

É conveniente enfatizar que a água pluvial não deverá ser misturada aos líquidos percolados do aterro, pois estes necessitarão de tratamento mais complexos antes de serem lançados à drenagem natural, o que não ocorre com a água pluvial (que poderá seguir diretamente para o corpo d'água receptor, mantendo-se os cuidados para redução de material em suspensão e 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 d'água de forma a diminuir a vazão a ser conduzida.

No caso de aterro em valas, recomenda-se que essas canaletas margeiem o sentido longitudinal das valas.

São chamadas de drenagem provisória as canaletas que serão destruídas pela própria evolução do aterro, as quais, em função de sua curta duração, não necessitam de revestimentos especiais, porém, devem ser refeitas sempre que necessário.

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.

6.3.7 Sistema de drenagem de líquidos percolados

Este sistema de drenagem deve coletar e conduzir o líquido percolado, reduzindo as pressões destes sobre a massa de lixo e também minimizando o potencial de migração para o subsolo. Outro motivo para se drenar o percolado é impedir que ele ataque as estruturas do aterro (camada de impermeabilização de base, por exemplo).

Esse sistema poderá ser constituído de drenos de material filtrante com tubo perfurado, direcionando-se os percolados para o tanque de acumulação de onde serão enviados a um tratamento adequado. É importante que os materiais utilizados não sejam atacados pelo percolado. Nesse sentido, os seixos quartzosos de origem fluvial (homogêneos e estáveis) tendem a ser mais indicados que as britas.

Para o dimensionamento desse sistema de drenagem é fundamental o conhecimento da vazão a ser drenada e das condicionantes geométricas da massa de lixo. Sua concepção dependerá da alternativa de tratamento adotada para o aterro sanitário, podendo inclusive estar associado ao sistema de drenagem de gases.

O sistema de drenagem de líquidos percolados deverá ser construído em todos os patamares de lixo (aterro em rampa). Basicamente, os drenos são constituídos por linhas de canaletas escavadas diretamente no solo, ou sobre a camada de aterro impermeabilizante, e preenchidas com material filtrante.

Para os aterros em valas de pequenas dimensões, via de regra, essa estrutura não tem sido prevista. Se as valas forem abertas com dimensões adequadas (sobretudo nas estações chuvosas) e os solos utilizados tiverem as especificações recomendadas (itens 6.3.4 e 6.3.5), o volume de líquidos percolados gerados será pequeno, podendo o sistema ser dispensado pelo OECPA.

6.3.8 Sistema de drenagem de biogás

O sistema de drenagem de biogás (Figura 28) 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 (internas e externas ao aterro sanitário).

A migração do biogás deve ser controlada pela execução de rede de drenagem adequada, colocada 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.

Associados aos drenos verticais, projetam-se drenos horizontais e subverticais que facilitem a drenagem mais eficiente da massa de lixo. 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.

O dimensionamento desses drenos depende da vazão de biogás a ser drenada; porém, como não existem modelos de cálculos comprovados, normalmente os drenos são construídos de forma empírica, prevalecendo o bom senso do projetista.

No caso de aterros em valas, quando as dimensões destas forem significativas, poderão ser executados drenos centrais e laterais, possibilitando a exaustão dos gases. Se as dimensões da vala são pequenas, poderá ser dispensada, a critério do OECPA, a construção de sistemas especiais para drenagem do biogás.



Foto: Arquivo CEMPRE

Figura 28 – Dreno de biogás

6.3.9 Análise da estabilidade dos maciços de terra e de resíduos sólidos

A análise da estabilidade dos maciços de terra da fundação e da massa de lixo disposta no aterro deve ser efetuada a partir de parâmetros específicos e utilizando-se métodos de análise adequados ao tipo e às condições do local em consideração. Tais estudos devem ser conduzidos por técnicos especializados.

A finalidade dessa análise é a obtenção do modelo de ruptura desses maciços para se definir a geometria estável do aterro e de seus entornos, adotando-se critérios de segurança adequados para obras civis. São considerados os seguintes aspectos: resistência ao cisalhamento, compressibilidade do solo de fundação local (conformação geológico-geotécnica do solo local), comportamento geomecânico do maciço de lixo (coesão (c), ângulo de atrito interno (j) e peso específico do lixo (g)), os quais definirão as propriedades de resistência e compressibilidade do lixo ao longo do tempo), projeto geométrico das células (altura de lixo e inclinação dos taludes), nível de percolado (estado de saturação) e sua flutuação dentro da massa de lixo (pressão neutra e condições de drenagem de biogás e percolado), e composição da cobertura final e sua resistência à erosão. Os critérios de segurança usuais são os mesmos empregados em obras civis ($1,0 < \text{fator de segurança} \leq 1,5$).

Os trabalhos de campo incluem inspeções, prospecções e instrumentação. Com os dados obtidos, efetua-se a análise, empregando-se modelos matemáticos e simulações computacionais. Os métodos da fatia e da cunha transacional, considerando-se uma falha potencial no equilíbrio limite, têm sido os mais empregados atualmente para essa finalidade.

Os riscos diretos de ruptura dos taludes de lixo do aterro sanitário podem vitimar operários e afetar máquinas e equipamentos. Os riscos ambientais associados referem-se à exposição dos resíduos, com consequências sanitárias e de poluição localizada.

Análises de estabilidade podem ser efetuadas utilizando-se métodos convencionais. Entretanto, é necessário conceber um projeto conservador, tendo em conta o intervalo de variação das propriedades do lixo municipal.

6.3.10 Sistema de tratamento dos líquidos percolados

Os esforços iniciais devem ser focalizados no sentido de evitar a formação de líquidos percolados, desde a escolha da área e concepção do projeto até a própria operação do aterro. Entretanto, em função de fatores externos, a formação desses líquidos tende a ser inevitável. Deste modo, deverá sempre ser previsto um sistema de coleta e tratamento dos líquidos percolados, não sendo admissível sua descarga em cursos d'água fora dos padrões normalizados.

Os processos de tratamento atualmente empregados são:

- *recirculação ou irrigação*: consiste na aspersão e infiltração dos líquidos percolados, visando a atenuação do seu poder contaminante pelos organismos presentes na massa de lixo;
- *tratamento em lagoas de estabilização*: esse sistema tem fundamento teórico na biodegradação da matéria orgânica do percolado pela ação de bactérias aeróbias e anaeróbias (Figura 29);
- *tratamentos químicos*: os líquidos de aterros 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. Os filtros biológicos podem ser aeróbios e anaeróbios;
- *tratamento em estações de tratamento de esgoto*: os líquidos percolados são encaminhados para tratamento juntamente com os esgotos domésticos.

Deve ser cuidadosamente avaliada a capacidade da ETE envolvida, tendo-se em conta a elevada DBO do percolado, comparativamente à do esgoto doméstico.

O melhor processo e o seu dimensionamento dependem das características do percolado, e este, da alternativa de tratamento dos resíduos adotada para o aterro sanitário analisado.



Foto: Arquivo CEMPRE

Figura 29 – Lagoa de tratamento de percolado

6.3.11 Sistema de tratamento dos gases

O sistema de tratamento mais usual tem sido a queima do biogás proveniente do aterro nos próprios drenos coletores de gases. Porém, esse é um sistema que ainda requer futuro aporte tecnológico para sanar os problemas ambientais que gera, sobretudo em aterros sanitários de médio e grande portes.

Muitos projetos visando a exploração do metano de aterros sanitários vêm sendo estabelecidos nas últimas décadas em todo o mundo. Os principais problemas nessa área estão relacionados à real capacidade de produção e recuperação, à impossibilidade de um perfeito controle de parâmetros como umidade, pH, potencial redox, temperatura, teor de sólidos voláteis, e à presença de substâncias inibidoras do processo biológico na massa de lixo, além de outros de menor importância. Outro aspecto impor-

tante é a necessidade de eliminação das impurezas corrosivas presentes no biogás, o que muitas vezes torna o processo economicamente inviável.

6.3.12 Sistema de monitorização

A monitorização pressupõe o acompanhamento da evolução de um determinado processo, obtendo-se subsídios para a realização de alterações neste. O sistema de monitorização tem a função de permitir a detecção, em estágio inicial, dos impactos ambientais negativos causados pelo empreendimento, permitindo a implementação de medidas mitigadoras antes que estes assumam grandes proporções e, dessa forma, torne-se mais difícil sua correção.

O principal sistema de controle ambiental refere-se ao acompanhamento dos líquidos percolados,

sendo monitorizados os mananciais de águas superficiais e subterrâneas, buscando-se a avaliação das alterações causadas pelo aterro nos cursos d'água da região mediante tomada de amostras a montante e a jusante da obra, e estabelecendo-se comparações entre as características destas.

A monitorização das águas subterrâneas visa avaliar, por meio de métodos diretos e/ou indiretos, a influência do aterro nesses mananciais, principalmente no aquífero freático.

O método direto constitui-se basicamente na perfuração de poços em pontos estratégicos do terreno. O número mínimo de poços a ser instalado para fins de controle é quatro, sendo um a montante e três a jusante do aterro em relação ao fluxo subterrâneo. O poço de montante tem a função de verificar a qualidade do aquífero antes de sua passagem sob o aterro e os poços de jusante, de avaliar a ocorrência de alterações das características iniciais e em que grau ocorreram. Recomenda-se consultar a norma NBR 13895⁵ para informações adicionais sobre monitorização do aquífero freático.

Os sistemas de tratamento de líquidos percolados também exigem acompanhamento adequado, visando a obtenção de subsídios para avaliação de sua eficiência. Essa abordagem é apresentada no Capítulo VI – Tratamento de Efluentes Líquidos de Aterros Sanitários.

De modo geral, a monitorização do aterro sanitário envolverá aspectos geotécnicos e ambientais.

O sistema de monitorização geotécnica consiste em (Figura 10):

- controle de deslocamentos horizontais e verticais;
- controle do nível de percolado e pressão de biogás no corpo do aterro;
- controle da descarga de percolado através dos drenos;
- inspeções periódicas, buscando-se indícios de erosão, trincas, entre outros.

O sistema de monitorização ambiental consiste em:

- controle da qualidade das águas subterrâneas;
- controle da qualidade das águas superficiais;

- controle da qualidade do ar;
- controle da poluição do solo;
- controle de insetos e vetores de doenças;
- controle de ruído e vibração;
- controle de poeira e material esvoaçante;
- controle de impactos visuais negativos.

A monitorização deverá ser efetuada com a instalação de poços, piezômetros, medidores de deslocamentos horizontais e verticais, medidores de vazão, análises físico-químicas e biológicas e inspeções diversas.

A frequência da coleta de amostras e das medições *in situ*, a escolha dos parâmetros a analisar/medir, as técnicas e os métodos a utilizar, assim como a frequência de apresentação dos resultados, devem ser discutidos com o OECPA e constar no projeto.

6.3.13 Fechamento do aterro

O sistema objetiva a concepção de um plano de encerramento das atividades de recepção de lixo no aterro sanitário e da manutenção da estabilidade física, química e biológica até que o local encontre-se em condições de ser preparado para sua utilização futura. Manutenções e reparos serão necessários por variadas circunstâncias tais como acomodações do lixo, erosão, assoreamento, etc.

O dimensionamento do sistema de fechamento do aterro sanitário é função do tratamento dos resíduos durante sua vida útil.

As drenagens que circundam a área aterrada, as vias de acesso e os sistemas de monitorização deverão ser mantidos em funcionamento após o encerramento do aterro durante todo o tempo em que os líquidos e o biogás apresentarem potencial poluidor, ou seja, até a estabilização da massa de resíduos.

A camada de cobertura final deverá ser complementada de maneira a evitar o surgimento de vetores de doenças e a percolação indevida de líquidos e gases.

A menos que o uso futuro esteja em condições de ser implementado, o local deverá permanecer fechado, com sinalização informando sobre o fechamento e fornecendo o endereço do novo local de disposição.

O uso futuro de locais de aterros sanitários encerrados deverá harmonizar-se com a ocupação nos entornos. Grandes construções, sobretudo para moradias, deverão ser evitadas, utilizando-se o local, preferivelmente, para áreas de recreação comunitárias (parques e campos para práticas esportivas).

Tal utilização somente deverá ser implementada, no entanto, se os riscos de colapsos do solo, produção de biogás e demais fatores restritivos estiverem definitivamente reduzidos a níveis aceitáveis. Essa definição deve ser avaliada cuidadosamente.

6.4 Projeto Básico

O projeto básico de um aterro sanitário é composto de desenhos e plantas, especificações técnicas, custos e cronogramas, memoriais descritivo e de cálculo, conforme listados a seguir.

6.4.1 Desenhos e plantas

O projeto básico de um aterro sanitário varia de um local para outro, dependendo das características intrínsecas destes. No entanto, geralmente, são necessárias as seguintes plantas:

- planta da situação e locação;
- planta baixa (ou vista superior);
- planta de locação das investigações, ensaios e pontos de amostragem;
- planta e detalhes do sistema de drenagem superficial;
- planta e detalhes do sistema de drenagem de biogás;
- planta e detalhes do sistema de drenagem de água subterrânea;
- planta e detalhes do sistema de drenagem de percolado;
- planta e detalhes das lagoas de tratamento, tanques, etc.;
- detalhes da execução das células de lixo;
- perfis longitudinais e transversais;
- detalhes da área de emergência;
- detalhes da área administrativa, balança, etc.;

- plantas e detalhes do sistema de monitorização;
- planta, detalhes e especificações técnicas do sistema de fechamento.

• *Especificações técnicas*

As especificações técnicas podem ser consideradas como as prescrições para o controle tecnológico na execução dos elementos constituintes do projeto. A conformidade da execução às especificações técnicas garantirá o desempenho desejado e projetado para o aterro sanitário.

• *Cronograma e planilha de custos*

Deve ser apresentado um cronograma de avanço dos trabalhos, no qual todas as fases da execução estejam evidenciadas. Deve-se proceder da mesma forma com os custos, que precisam ser apresentados detalhadamente, considerando-se os custos de implantação, operação, manutenção, materiais e outros custos eventuais.

• *Memoriais descritivo e de cálculo*

Apresentam detalhadamente a concepção do projeto e os cálculos de dimensionamento das diversas partes das obras, devidamente justificados e documentados.

6.5 Orientação para licitação

A Prefeitura tem, em geral, duas alternativas básicas para a implantação e operação do aterro sanitário.

Uma primeira abordagem é avaliar se o município dispõe de condições técnicas e recursos econômicos, financeiros e humanos que satisfaçam às exigências do projeto de modo que se tenha uma adequada operação do sistema de disposição.

Outra alternativa é terceirizar a implantação e operação do aterro sanitário mediante concorrência pública. A operação de um aterro sanitário deve ser entendida como a execução de uma obra civil com projeto técnico definido e não como atividade de prestação de serviços de limpeza pública. No entan-

to, cláusulas contratuais devem prever a execução do aterro em etapas que, inclusive, poderão ser realizadas por empresas diferentes ao longo do tempo sem prejuízo para seu desenvolvimento adequado.

Caso se opte por licitação pública, partindo-se do princípio da existência do projeto técnico, devem constar da elaboração do edital de concorrência:

- escopo e descrição do objeto da licitação;
- critérios para habilitação das empresas;
- condições de apresentação da proposta;
- critérios de julgamento;
- datas de entrega, abertura e julgamento das propostas, e assinatura do contrato;

- prazo do contrato;
- condições contratuais.

As empresas que participarem da licitação pública deverão estar em dia com as obrigações sociais, ser cadastradas na repartição onde serão realizadas as licitações e satisfazer a todas as exigências referentes à capacitação técnica e financeira. Algumas das exigências específicas que as empresas devem apresentar são:

- capital integralizado da empresa;
- currículo do corpo técnico;
- currículo técnico de obras semelhantes realizadas;
- equipamentos de sua propriedade disponíveis.

BIBLIOGRAFIA

1. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABTN. 1984. Apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos; NBR 8419. São Paulo. 13 p.
2. CETESB. 1998. Relatório Ambiental Preliminar (RAP) – Roteiros básicos. São Paulo: Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. 80 p. (Documentos Ambientais).
3. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABTN. 1997. Aterros de resíduos não-perigosos – Critérios para projetos, implantação e operação – Procedimento; NBR 13896. São Paulo. 12 p.
4. CETESB. 1997. Aterros sanitários em valas. São Paulo: Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. 40 p. (Apostilas Ambientais).
5. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABTN. 1997a. Construção de poços de monitoramento e amostragem – Procedimento; NBR 13895. São Paulo. 21 p.
6. CEMPRE Review 2015, Um Panorama da reciclagem no Brasil. www.cempre.org.br/artigo-publicacao/artigos.

CAPÍTULO VI

**TRATAMIENTO DE EFLUENTES LÍQUIDOS
DE ATERROS SANITÁRIOS**

1 INTRODUÇÃO

No estudo do tratamento e disposição de resíduos sólidos, muitas vezes ocorre de não se ter em conta que, associado aos mesmos, há uma fração de líquidos que exige cuidados específicos.

É comum observar-se o líquido vazando dos saquinhos de lixo doméstico, por exemplo. Os grandes recipientes de acumulação de lixo também dão origem a uma quantidade variada de líquidos. Nos aterros sanitários, a quantidade de líquidos escorrendo da fase sólida é maior ainda. Este líquido é fonte de desconforto, por causa do odor e aparência, e de problemas sanitários e ambientais, por causa de sua composição.

Neste Capítulo serão abordados aspectos relativos à geração dos líquidos, suas características e seu tratamento e disposição final, visando diminuir ou eliminar os problemas de ordem sanitária e ambiental.

O líquido escuro, turvo e malcheiroso proveniente do armazenamento e tratamento do lixo é usualmente chamado de *chorume*, mas não é raro se deparar com outras denominações, como sumeiro, chumeiro, lixivado, percolado, entre outras. Independente da nomenclatura utilizada, a sensação que sempre surge é de alguma coisa desagradável. E não é para menos. A geração do chorume e seu escoamento, sem que receba o tratamento e disposição adequados, são, sem dúvida nenhuma, um dos problemas ambientais e de saúde pública mais relevantes associados ao lixo.

2 DEFINIÇÃO E FORMAÇÃO DO CHORUME

A questão sobre “o que é e como se forma” o chorume não tem resposta tão simples quanto possa parecer. Para respondê-la de forma satisfatória, não basta dizer que o chorume é um líquido escuro, turvo e malcheiroso que sai do lixo. Deve-se, inicialmente, conhecer quais os fatores em jogo na sua formação e composição. Em seguida, serão discutidos os métodos e as técnicas para coletá-lo, tratá-lo e dispô-lo de forma adequada.

No Capítulo II – Origem e Composição do Lixo, onde se discutiu como caracterizar o lixo, nota-se que um dos parâmetros mais importantes é o teor

de umidade, que expressa a quantidade de água contida na massa de resíduo. Esta água tenderá a solubilizar substâncias presentes nos resíduos sólidos, principalmente aqueles de composição orgânica, dando origem a uma mistura líquida complexa com composição química bastante variável. Esta variabilidade pode ser tanto qualitativa como quantitativa. Tais características são, por sua vez, variáveis ao longo do tempo, exigindo, assim, cuidados especiais na tarefa de resolver o problema do chorume. Todo esse processo ocorre, principalmente, em função da decomposição biológica do lixo provocada por microorganismos.

Durante a vida ativa de um aterro sanitário, a geração do chorume é influenciada por uma série de fatores¹, dos quais pode-se ressaltar três grupos principais, a serem melhor discutidos posteriormente.

• Fatores climatológicos e correlatos:

- regime de chuvas e precipitação pluviométrica anual;
- escoamento superficial;
- infiltração;
- evapotranspiração e temperatura.

• Fatores relativos ao resíduo sólido:

- composição;
- densidade;
- teor de umidade inicial.

• Fatores relativos ao tipo de disposição:

- características de permeabilidade do aterro;
- idade do aterro;
- profundidade do aterro.

Tomando-se como base um teor de umidade do lixo variando de 60 a 80% em peso, não é raro observar que, após o lixo ser colocado em caminhões de coleta dotados de compactadores, ocorre o escoamento nas vias públicas de um líquido que é, em parte, água contida no lixo e também chorume propriamente dito. Se não houver uma prévia preocupação com este fato, à medida que o veículo se desloca, ocorre o derramamento deste líquido por todo seu percurso. O mau cheiro e as características contaminantes e poluentes produzem efeitos anties-téticos, além do risco à saúde pública da cidade. Por-

tanto, o problema do chorume pode começar desde o transporte, que deve ter mecanismos de coleta e armazenamento deste líquido para posteriormente destiná-lo adequadamente.

Embora o fato acima mereça atenção, os maiores problemas com a geração descontrolada do chorume manifestam-se no local de sua disposição final.

Conforme já mencionado no Capítulo V – Disposição Final do Lixo, quando disposto em um aterro sanitário, o lixo é confinado em células onde se busca minimizar o contato com fontes externas de água. Mas, mesmo com todo esforço, a produção de chorume é inevitável, pois não é possível o controle total sobre todas as fontes de umidade que interagem com o resíduo sólido. Estas fontes podem ser:

- a própria umidade inicial do lixo;
- a água gerada no processo de decomposição biológica;
- a água da chuva que percola pela camada de cobertura.

Destas três fontes, indubitavelmente o volume correspondente à última supera em relevância às demais a despeito da camada de cobertura, que deve ser relativamente impermeável, e do sistema de drenagem superficial, que deve afastar o escoamento superficial das áreas adjacentes.

A produção do chorume em um aterro sanitário não aparece imediatamente após a disposição do resíduo, manifestando-se após um dado período do início da disposição das primeiras células.

Em estudos realizados em lisímetros (estruturas constituídas de um reservatório de solo, providas de sistema de monitoração de entrada e saída de umidade), que simulavam aterros sanitários², verificou-se que este tempo de retardamento dependia de alguns fatores, tais como:

- umidade inicial do lixo disposto e dos outros componentes do aterro: quanto menor o teor de umidade inicial, maior o tempo para o início de produção significativa de chorume;
- densidade do aterro: quanto maior a densidade do aterro, maior o tempo para o início de produção significativa de chorume;
- velocidade de utilização do aterro: quanto

mais rápido o início de operação do aterro, maior o tempo para o início de produção significativa de chorume;

- quantidade de água infiltrada: quanto maior a quantidade de água que se infiltra nas células do aterro, menor o tempo para o início de produção significativa de chorume.

Pode-se dizer que a célula de um aterro funciona como um reservatório de líquido, que, enquanto tiver capacidade de reter umidade, não liberará o líquido para as camadas inferiores. A este limite superior de água que uma camada de lixo pode reter, dá-se o nome de *capacidade de campo*. Esta denominação é derivada daquela que se utiliza para descrever a capacidade de armazenamento de água no solo.

Nenhum ou muito pouco chorume escoará da massa de resíduo confinada na célula do aterro até que se atinja a capacidade de campo. Esta pequena produção, anterior à saturação do meio, é principalmente devida à liberação da umidade inicial do lixo sujeito à compressão na célula confinada.

Já aterrada, acentua-se na massa de resíduo a ação de microorganismos que degradam bioquimicamente sua parcela orgânica.

A decomposição biológica do lixo, por sua vez, governará a produção de gás e a composição do chorume, que dependerão, fundamentalmente, da fase em que o processo de decomposição se encontra.

De forma geral, o processo de decomposição do lixo em aterros dá-se em três fases: a primeira denomina-se fase aeróbia. Em seguida, vem a fase acetogênica e, por último, a fase metanogênica. Durante essas fases, a suscetibilidade ao carreamento ou arraste de substâncias químicas pelo líquido que escoará se modifica drasticamente. Este processo de carreamento denomina-se *lixiviação*. Por meio desse processo, os compostos arrastados do interior da massa de resíduo dão origem ao chorume com composição diversa. Ou seja, as reações bioquímicas que ocorrem no interior da massa de lixo em decomposição modificam as substâncias, tornando-as mais ou menos suscetíveis ao arraste pelo líquido que percola pelo resíduo. Dessa forma, a composição do chorume se altera, dependendo bastante da fase em que se encontra o processo.

Logo após a cobertura do aterro, ainda há a presença de ar e, portanto, de oxigênio, aprisionado no interior da célula confinada. Os microorganismos aeróbios, ou seja, aqueles que utilizam oxigênio na decomposição da matéria orgânica, dão início à primeira das fases do processo de decomposição do lixo.

A decomposição aeróbia é relativamente curta. Em média, tem a duração de aproximadamente um mês, consumindo rapidamente a quantidade limitada de oxigênio presente.

Em aterros rasos, com profundidades inferiores a 3 m, ou quando se garante um suprimento extra de oxigênio, esta fase pode perdurar um tempo maior.

No decorrer da fase aeróbia, ocorre uma grande liberação de calor. A temperatura do aterro sobe acima daquela encontrada no ambiente. O chorume produzido nesta fase apresentará elevadas concentrações de sais de alta solubilidade dissolvidos no líquido resultante. Observa-se, entre outros (QASIM & CHIANG, 1994), a presença do cloreto de sódio (NaCl).

A elevação da temperatura pode ocasionar, também, a formação de sais contendo metais, pois muitos íons são solúveis em água em temperaturas elevadas. O chumbo (Pb²⁺), por exemplo, é solúvel em água quente na forma de cloretos, ao contrário da prata (Ag⁺) e do mercúrio (Hg⁺).

Existem outros íons que podem ser arrastados pelo líquido que percola pela massa de lixo. Pode-se exemplificar alguns íons e suas possíveis fontes:

Na ⁺ , K ⁺ , Ca ²⁺ , Mg ²⁺	- Material orgânico, entulhos de construção e cascas de ovos
PO ₄ ³⁻ , NO ₃ ⁻ , CO ₃ ²⁻	- Material orgânico
Cu ²⁺ , Fe ²⁺ , Sn ²⁺	- Material eletrônico, latas e tampas de garrafas
Hg ²⁺ , Mn ²⁺	- pilhas comuns e alcalinas e lâmpadas fluorescentes
Ni ²⁺ , Cd ²⁺ , Pb ²⁺	- Baterias recarregáveis (celular, telefone sem fio e automóveis)
Al ³⁺	- Latas descartáveis, utensílios domésticos, cosméticos e embalagens laminadas em geral
Cl ⁻ , Br ⁻ , Ag ⁺	- Tubos de PVC, negativos de filmes e raio X
As ³⁺ , Sb ³⁺ , Cr ^{xx}	- Embalagens de tintas, vernizes e solventes orgânicos

Nesta fase dá-se, também, grande formação de gás carbônico (CO₂) e hidrogênio, particularmente se a umidade no interior da massa de lixo for baixa.

Após a diminuição da quantidade de oxigênio, comecem a predominar microorganismos anaeróbios facultativos, ou seja, aqueles que preferencialmente não usam oxigênio na decomposição da matéria orgânica, podendo, porém, utilizá-lo. Esses microorganismos são chamados de bactérias acetogênicas.

Estas bactérias primeiramente convertem o material orgânico particulado, como a celulose e outros materiais putrescíveis, em compostos dissolvidos num processo denominado hidrólise ou liquefação. Segue-se a fermentação, que se caracteriza por ser um processo bioquímico pelo qual as bactérias obtêm energia pela transformação da matéria orgânica hidrolisada, contudo sem mineralizá-la.

Durante esta segunda fase, que pode perdurar por alguns anos, são produzidas quantidades consideráveis de compostos orgânicos simples e de alta solubilidade, principalmente ácidos graxos voláteis, como o ácido acético, e também grandes quantidades de nitrogênio amoniacal. Estes ácidos se misturam com o líquido que percola pela massa de resíduo sólido, fazendo com que seu pH caia para valores entre 4 e 6. O caráter ácido desta mistura ajuda na solubilização de materiais inorgânicos, podendo apresentar altas concentrações de ferro, manganês, zinco, cálcio e magnésio.

Os valores baixos de pH favorecem, também, o aparecimento de maus odores, com a liberação de gás sulfídrico (H₂S), amônia (NH₃) e outros gases causadores de maus odores⁶.

O chorume produzido nesta fase apresenta grande quantidade de matéria orgânica. Tem, portanto, alta *demanda bioquímica de oxigênio* (DBO), valor usado para indicar a concentração de matéria orgânica em um dado volume líquido. O chorume, nesta fase, tem valores de DBO superiores a 10 g/L.

Um outro indicador da quantidade de compostos orgânicos em um líquido é a *demanda química de oxigênio* (DQO). Dividindo-se o valor da DBO do chorume pelo valor da DQO do mesmo, obtêm-se valores relativamente altos, usualmente superiores a 0,7. Esses valores denotam que o chorume é relativamente biodegradável.

Na terceira e última fase, os compostos orgânicos simples formados na fase acetogênica começam a ser consumidos por bactérias estritamente anaeróbias, denominadas bactérias metanogênicas, que dão origem ao metano (CH₄) e ao gás carbônico (CO₂).

Estas bactérias metanogênicas desenvolvem-se preferencialmente em valores de pH próximos do neutro (pH =7,0), entre 6,6 e 7,3. Com o consumo dos ácidos voláteis simples produzidos na fase anterior, o valor do pH, que era ácido, começa a subir, favorecendo o aparecimento deste tipo de bactéria; porém, esta é bastante sensível. Uma vez estabelecido este equilíbrio no pH, qualquer acúmulo de ácidos pode provocar uma queda na quantidade de bactérias metanogênicas, prejudicando o processo de decomposição dessa terceira fase.

Estando o pH próximo do neutro, reduz-se a solubilização de compostos inorgânicos, diminuindo a condutividade do chorume, grandeza que caracteriza a capacidade do líquido de conduzir corrente elétrica.

Enquanto o consumo dos ácidos voláteis simples faz o pH subir, a DBO do chorume, por sua vez, começa a baixar. Nessa condição, a divisão do valor da DBO pelo valor da DQO resulta em valores mais baixos, o que significa menor capacidade de biodegradação do chorume. Isso se explica pelo fato de que, nessas condições, há um acúmulo no chorume de substâncias que são de difícil degradação biológica, como os ácidos fúlvicos e húmicos, originários da decomposição de material vegetal. Estes compostos também contribuem sobremaneira para a coloração escura do chorume.

Embora esta divisão em fases facilite bastante o entendimento do processo de estabilização do lixo e seus impactos sobre a composição do chorume, bem como sobre a composição das emissões gasosas, na prática, durante a vida ativa de um aterro, as fases não são tão bem delimitadas uma vez que sempre há o aterramento de resíduos sólidos novos, causando uma grande variabilidade na idade do material disposto, não sendo difícil encontrar as três fases ocorrendo simultaneamente em um único aterro.

3 COMPOSIÇÃO DO CHORUME

Agora, conhecido um pouco mais o processo de decomposição do lixo em aterros sanitários, pode-se conceituar chorume como sendo o líquido de composição bastante variável que adquiriu características poluentes devido ao seu contato com uma massa de resíduo sólido em decomposição.

Na literatura, há inúmeros exemplos de composição de chorume. Nas Tabelas 1 a 3 são apresentados valores de parâmetros da composição do chorume em diferentes idades do aterro e fases do processo de decomposição do lixo aterrado.

Tabela 1 – Composição do chorume com diferentes idades

Parâmetro (mg/L) ^a	Idade do aterro		
	1 ano	5 anos	16 anos
DBO	7.500-28.000	4.000	80
DQO	10.000-40.000	8.000	400
pH	5,2-6,4	6,3	-
SDT	10.000-14.000	6.794	1.200
SST	100-700	-	-
Condutividade	600-9.000	-	-
Alcalinidade (CaCO ₃)	800-4.000	5.810	2.250
Dureza (CaCO ₃)	3.500-5.000	2.200	540
Fósforo total	25-35	12	8
Ortofosfato	23-33	-	-
Nitrogênio amoniacal	56-482	-	-
Nitrato	0,2-0,8	0,5	1,6
Cálcio	900-1.700	308	109
Cloro	600-800	1.330	70
Sódio	450-500	810	34
Potássio	295-310	610	39
Sulfato	400-650	2	2
Manganês	75-125	0,06	0,06
Magnésio	160-250	450	90
Ferro	210-325	6,3	0,6
Zinco	10-30	0,4	0,1
Cobre	-	< 0,5	< 0,5
Cádmio	-	< 0,05	< 0,05
Chumbo	-	0,5	1,0

Fonte: CHIAN & DEWALLE (1976, 1977) citados por QASIM & CHIANG¹
(^a) Todos os valores em mg/L, exceto condutividade, que é expressa em microhm por centímetro, e pH, que não tem unidade.

NOTA: Consultar Lista de Siglas e Abreviaturas.

Tabela 2 – Valores de características do chorume de aterros novos e consolidados

Parâmetro (mg/L) ^a	Aterro novo (menos de 2 anos)		Aterro consolidado (mais de 10 anos)
	Varição ^b	Típico ^c	Varição ^b
DBO	2.000-30.000	10.000	100-200
COT	1.500-20.000	6.000	80-160
DQO	3.000-60.000	18.000	100-500
SST	200-2.000	500	100-400
Nitrogênio orgânico	10-800	200	80-120
Nitrogênio amoniacal	10-800	200	20-40
Nitrato	5-40	25	5-10
Fósforo total	5-100	30	5-10
Ortofosfato	4-80	20	4-8
Alcalinidade (CaCO ₃)	1.000-10.000	3.000	200-1.000
pH	4,5-7,5	6	6,6-7,5
Dureza (CaCO ₃)	300-10.000	3.500	200-500
Cálcio	200-3.000	1.000	100-400
Magnésio	50-1.500	250	50-200
Potássio	200-1.000	300	50-400
Sódio	200-2.500	500	100-200
Cloro	200-3.000	500	100-400
Sulfato	50-1.000	300	20-50
Ferro total	50-1.200	60	20-200

(^a) Exceto pH, que não tem unidade.

(^b) Varição representativa dos valores. Os valores máximos têm sido reportados na literatura para alguns constituintes.

(^c) Valores típicos para aterros novos variam com estágio metabólico do aterro.

Fonte: Adaptado de TCHIBANOGLIOUS et al. citados por QASIM & CHIANG¹

NOTA: Consultar Lista de Siglas e Abreviaturas.

Tabela 3 – Valores típicos e faixa de variação dos parâmetros do chorume para as fases acetogênica e metanogênica de um aterro sanitário

Parâmetros ^a	Típico	Varição
	Fase acetogênica	
pH	6,1	4,4-7,5
DBO	13.000	4.000-40.000
DQO	22.000	6.000-60.000
DBO/DQO	0,58	-
Sulfato	500	70-1.750
Cálcio	1.200	10-2.500
Magnésio	470	50-1.150
Ferro	780	20-2.100
Manganês	25	0,3-65
Zinco	5	0,1-120
Estrôncio	7	0,5-15

Parâmetros ^a	Típico	Varição
	Fase metanogênica	
pH	8	7,5-9
DBO	180	20-550
DQO	3.000	500-4.500
DBO/DQO	0,06	-
Sulfato	80	10-420
Cálcio	60	20-600
Magnésio	180	40-350
Ferro	15	3-280
Manganês	0,7	0,03-45
Zinco	0,6	0,03-4
Estrôncio	1	0,3-7

(^a) Todos os valores em mg/L, exceto pH e DBO/DQO, que não têm unidade.

Fonte: CHRISTENSEN et al.⁷

NOTA: Consultar Lista de Siglas e Abreviaturas.

4 ESTIMATIVA DA QUANTIDADE DE CHORUME PRODUZIDO UTILIZANDO MÉTODOS EMPÍRICOS

Como foi possível observar, não é fácil determinar de antemão as características qualitativas do chorume. Infelizmente, a determinação segura das características quantitativas apresenta também alto grau de dificuldade. Isso se deve ao fato de tratar-se de um processo onde grande número de variáveis interferem.

De uma maneira mais geral, pode-se dizer que o volume ou vazão de chorume varia de maneira acentuada segundo a composição do lixo, sua quantidade e densidade, a idade de cada célula do aterro, a temperatura ambiente, o regime de chuvas, etc. Dessa forma, observa-se, ao longo dos anos, assim como de um particular ano, e ao longo dos dias, variações bastante intensas da vazão de chorume. Como os valores de vazão e a composição do chorume são variáveis centrais para o dimensionamento do processo de tratamento, é necessário estabelecer algumas hipóteses simplificadoras que permitam elaborar um projeto com segurança.

A principal hipótese a ser adotada se refere à vazão de chorume quando da precipitação da chuva. Dessa forma, o dimensionamento será baseado na vazão de chorume para um certo valor de precipitação. Em outras palavras, dado que a vazão de

chorume para esse valor referência de precipitação é muito maior que a vazão nas demais situações sem precipitação, pode-se dizer que a fonte única de água que irá produzir o chorume é a precipitação atmosférica, que no Brasil praticamente só ocorre na forma de chuva.

Mas nem toda a água precipitada tornar-se-á chorume. Para determinar qual a parcela que efetivamente resultará em chorume, a literatura aponta para um método adotado na Suíça. Este método aplica coeficientes empíricos, que dependem do grau de compactação do lixo ou seu peso específico⁶, conforme segue:

- para aterros pouco compactados, com o resíduo aterrado apresentando um peso específico entre 4 kN/m³ (0,4 tf/m³) e 7 kN/m³ (0,7 tf/m³), espera-se que 25 a 50% da precipitação média anual que incide sobre a área do aterro transforme-se em chorume;
- para aterros mais compactados; com peso específico maior que 7 kN/m³ (0,7 tf/m³), espera-se que 15 a 25% da precipitação média anual que incide sobre a área do aterro transforme-se em chorume.

Na Tabela 4 são apresentados os resultados de estudos realizados na Alemanha em vários aterros em diferentes fases de operação. Pode-se observar claramente o efeito da compactação sobre a produção de

Tabela 4 – Precipitação e produção de chorume em alguns aterros sanitários na Alemanha

Aterro sanitário	Precipitação (mm/ano)	(%) ^a	Produção de chorume (m ³ /ha.dia)
<i>Compactação com trator de pé de carneiro</i>			
1	652	15,1	2,7
2	651-998	12,2-29,8	3,2-8,1
3	651-998	16,9-21,6	3,0-5,9
4	632	16,3-18,3	2,8-3,2
5	509	16,8	2,3
6	556-1.057	15,6-19,6	2,6-5,1
7	770	3,3-7,2	0,7-1,1
8	-	22	3,8
9	-	38	6,7
<i>Compactação com trator de esteira</i>			
10	571	31,3	4,9
11	571	4,4	0,4
12	501-729	25-48,2	5,3-8,3
13	662	58,3	10,6
14	632	32,3	5,9
15	565-655	39,2-42,0	6,1-7,5
16	636	19,9-21,4	3,5-3,7

(^a) Porcentagem da precipitação que se transforma em chorume.
Fonte: EHRIG, 1983 citado por CHRISTENSEN et al.⁷

chorume. Nota-se que quando o aterro é compactado com tratores de esteira, a produção de chorume varia de 25 a 50% da precipitação. Quando o aterro é compactado com tratores tipo pé de carneiro, a porcentagem de precipitação que se transforma em chorume cai para valores entre 15 e 25%.

5 ESTIMATIVA DA QUANTIDADE DE CHORUME PRODUZIDO UTILIZANDO O BALANÇO HÍDRICO

A forma mais adequada de estimar a produção de chorume em um aterro sanitário e que deve ser obrigatoriamente utilizada quando o projeto for de maior porte é aquela que se baseia no balanço hídrico. Este consiste na soma das parcelas de água que entram e na subtração das parcelas que deixam a célula do aterro mensalmente.

Como já mencionado anteriormente, dentre as fontes de umidade que interagem com o lixo, a água que entra pela face superior através da percolação pela camada de cobertura corresponde à parcela mais relevante. Portanto, conhecer o regime das chuvas do local de implantação do aterro é condição primordial para se iniciar o cálculo do balanço hídrico. Preferencialmente, deve-se utilizar dados históricos mensais da pluviometria obtidos em estações meteorológicas mais próximas possíveis do local de instalação do aterro.

A precipitação atmosférica no Brasil se dá principalmente em sua forma mais comum, a chuva. Caindo sobre o solo, a água precipitada segue diferentes caminhos. Como a camada de cobertura é um meio poroso, há infiltração da água que inicialmente atinge o solo, até o momento que as suas camadas superiores se saturem, ou seja, não consigam mais admitir a entrada de água. A partir deste momento, o excesso não infiltrado começa a escoar pela superfície.

O escoamento superficial sobre o solo saturado é formado inicialmente por pequenos filetes de água que, por meio da gravidade, escoam para os pontos mais baixos, onde devem ser instalados sistemas de coleta. A água que escoar na superfície pode infiltrar novamente se encontrar uma superfície de solo não saturado.

A água que não entrou em contato com o lixo e, portanto, não se constituiu em fonte formadora

de chorume, pode ser encaminhada para a rede de drenagem de águas pluviais. Logo, o escoamento superficial sobre o solo saturado deve ser a primeira parcela a ser subtraída do total precipitado.

A parcela da precipitação que forma o escoamento superficial pode ser calculada utilizando-se vários métodos, sendo o mais comum o método racional. Este método é largamente utilizado em projetos de sistemas de drenagem urbana. Embora frequentemente criticado, para bacias pequenas e de moderada complexidade, este método apresenta resultados bastante satisfatórios.

A parcela de água que infiltrou no solo sofre a ação de forças capilares e da gravidade, prosseguindo seu caminho para as camadas inferiores e atingindo a massa de resíduo aterrado, umedecendo-a de cima para baixo, modificando gradativamente o perfil de umidade no interior da célula.

No tocante ao movimento da água através da massa de resíduo aterrado, pode-se considerar o lixo como sendo um solo com características particulares, onde é possível adotar alguns conceitos aplicáveis aos solos. A capacidade de campo, anteriormente citada, se constitui num bom exemplo de conceito originado do estudo da infiltração em solos.

Cessada a precipitação, o aporte de água na superfície pára, findando o processo de infiltração. Porém, isso não implica que a movimentação da água no interior da célula deixe de existir. O fluxo descendente de água continua em função da força gravitacional ou da pressão que a coluna de água infiltrada impõe. A este movimento do líquido no interior da célula após o fim da precipitação dá-se o nome de redistribuição interna.

Parte da umidade presente no solo de cobertura é transferida para a atmosfera por evaporação direta ou por transpiração dos vegetais. O crescimento de vegetais sobre a cobertura final da célula promove uma perda de água para a atmosfera por evapotranspiração (soma das perdas por evaporação do solo e por transpiração das plantas) que é superior àquela que se perderia do solo sem cobertura vegetal. Considerando que é desejável minimizar a quantidade de água que se infiltra, recomenda-se prover as células com uma fina camada de terra fértil sobre a cobertura final, onde algumas espécies vegetais possam se desenvolver.

Há na literatura várias formulações empíricas e semiempíricas para a estimativa desta parcela que é transferida para a atmosfera. Estas equações foram estabelecidas com base em ajustes das variáveis envolvidas para algumas regiões e condições específicas³ e, portanto, devem ser empregadas com bastante critério.

Sempre que possível, deve-se dar preferência a dados obtidos por medições diretas. Algumas estações meteorológicas contam com instrumental adequado para a estimativa da evaporação (tanques de evaporação) ou da evapotranspiração (lisímetros).

Esta parcela de água que vai para a atmosfera na forma de vapor deve ser subtraída da água que infiltrou, mês a mês, pois não resultará na formação de chorume. Esta subtração nem sempre resulta em valor positivo. Valores negativos são possíveis e significam que em um determinado mês a célula perdeu umidade e uma parcela menor de chorume será coletado.

Porém, se este valor for positivo haverá uma recarga desta umidade repondo o que foi perdido nos períodos mais secos. Persistindo esta situação, como, por exemplo, durante a época de chuvas mais intensas, a capacidade de campo da massa de resíduos pode ser atingida, momento em que qualquer acréscimo na quantidade de líquido no interior da célula resultará em aumento da geração de chorume.

Portanto, a metodologia do balanço hídrico para estimativa da produção de chorume é, resumidamente, o cômputo, mês a mês, das parcelas apresentadas na figura 1.

Há, no mercado, programas computacionais dotados de banco de dados meteorológicos que permitem o cálculo do balanço hídrico. Porém, como esses programas são importados, a aplicação deles à realidade brasileira fica comprometida face à provável ausência de dados aplicáveis a essa realidade.

6 TRATAMENTO DO CHORUME

O chorume originado em aterros sanitários contém altas concentrações de substâncias orgânicas e inorgânicas, e possui um grande potencial de poluição de águas subterrâneas e superficiais, razão pela qual deve ser corretamente submetido a tratamento antes de ser lançado em corpos d'água, infiltrado

no solo ou, eventualmente, encaminhado para redes coletoras de esgoto.

Conforme exposto em item anterior, o pH do chorume varia segundo a fase de decomposição predominante. Altas concentrações de DBO e DQO são comuns, e a presença de produtos químicos tóxicos também. Em virtude de características particulares e das diferentes idades de deposição dos resíduos sólidos, a concentração das diversas substâncias presentes na sua composição varia para cada tipo de aterro bem como, dentro de um mesmo aterro, para cada conjunto de células envolvidas.

A combinação de vários fatores, que vão desde as altas concentrações de DBO e DQO, superiores 200 vezes às encontradas em esgotos sanitários, até as consideráveis variações de vazão em decorrência dos diferentes índices pluviométricos de cada ano exigem projetos de tratamento de chorume bastante específicos. Ou seja, a peculiaridade de cada aterro sanitário deverá ser cuidadosamente levada em conta.

Não só o projeto e a construção exigem cuidados: também a operação dos sistemas de tratamento deverá contar com recursos humanos adequados às variações próprias de determinado aterro. Infelizmente, observa-se, na realidade brasileira, que a

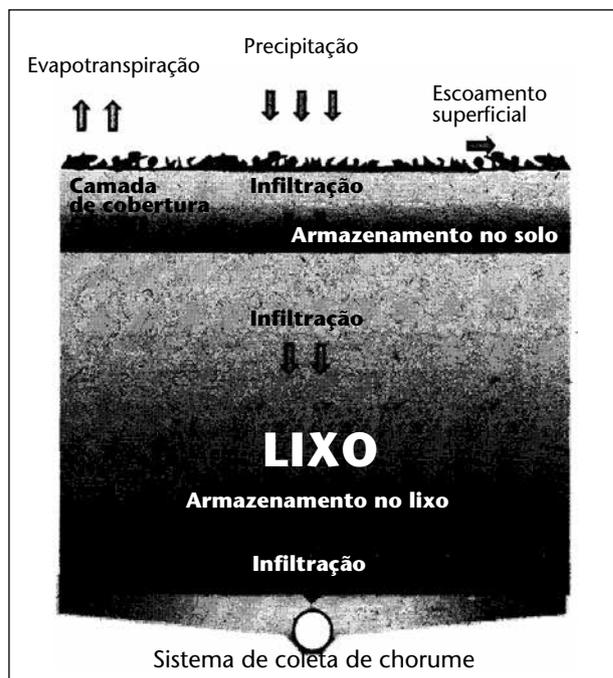


Figura 1 – Esquema do balanço hídrico em uma célula de aterro sanitário

capacitação da mão-de-obra empregada frequentemente está aquém das necessidades oriundas da utilização de equipamentos e maquinário bem como dos procedimentos exigíveis.

Um outro problema relacionado à operação de aterros sanitários é a distância do centro urbano e o isolamento necessário. Essa situação favorece um relaxamento nos procedimentos sem que as consequências daí advindas possam ser objeto de reclamações e denúncias da população.

Outros fatores, como aspectos legais e participação pública, também devem ser considerados no momento do planejamento e dimensionamento do sistema de tratamento.

As tecnologias aplicáveis ao tratamento de chorume são similares ao tratamento de esgotos. Assim, os métodos de dimensionamento serão análogos àqueles utilizados no tratamento de esgotos. As diferenças marcantes estão nos valores dos parâmetros envolvidos. De maneira geral, conforme podem ser observados nas Tabelas 1 a 3, os parâmetros da composição do chorume apresentam concentrações bem mais altas que aquelas referentes ao esgoto doméstico. De qualquer forma, a similaridade permite uma abordagem das tecnologias de tratamento de chorume semelhante à utilizada no tratamento de esgotos, resguardadas as diferenças apontadas.

6.1 Fatores Intervenientes no Dimensionamento do Tratamento de Chorume

Normalmente, as unidades de tratamento de chorume são dimensionadas em módulos que guardam relação com a evolução do aterro sanitário ao longo do tempo. Assim, as variações de vazão e composição do chorume, entre outras variáveis, devem ser cuidadosamente previstas. Caso sejam adotadas hipóteses que se distanciem demais da evolução real, ocorrerão problemas com o tratamento.

Além das hipóteses mencionadas, é necessário estar atento às exigências legais, particularmente aquelas relativas à disposição final dos efluentes tratados. Da mesma forma, é também importante levar em conta a evolução das tecnologias ante as demandas mais rigorosas. Essas considerações apontam para um projeto com características bastante

flexíveis, permitindo uma evolução consoante às mudanças das condições.

Para determinação do tipo de tratamento e do grau de eficiência desejados, os seguintes fatores devem ser considerados na elaboração de um projeto visando o tratamento do chorume¹⁰:

- características do chorume: determinação das concentrações de compostos orgânicos e inorgânicos e sua evolução ao longo do tempo;
- presença de substâncias perigosas: determinação das concentrações de compostos químicos tóxicos e metais pesados;
- alternativas de disposição do efluente tratado de maneira associada à legislação vigente: corpos d'água superficiais, redes coletoras de esgoto, tratamento no solo e recirculação para o aterro sanitário;
- estudos de tratabilidade: levantamento de parâmetros para projeto e operação do aterro visando a escolha da tecnologia mais adequada;
- avaliação das alternativas tecnológicas disponíveis;
- necessidades operacionais: determinações analíticas, treinamento de técnicos, etc.;
- custos de implantação e operação.

De modo geral, todos os efluentes líquidos provenientes de aterros sanitários podem ser tratados de maneira satisfatória, evitando ou minimizando os impactos indesejáveis do despejo dos efluentes tratados no que concerne à saúde pública e ao meio ambiente. Para atingir esse objetivo, deve-se proceder de maneira criteriosa no planejamento geral do aterro sanitário, detalhando a evolução do mesmo ao longo do tempo, de modo a propiciar cenários de projeto que abarquem com segurança o desenvolvimento real do aterro.

6.2 Alternativas Tecnológicas para Tratamento do Chorume

Dentre as tecnologias utilizadas no tratamento de chorume, destacam-se:

- tratamento biológico;
- recirculação do chorume através do aterro sanitário;
- tratamento físico-químico.

6.3 Tratamento Biológico

O tratamento biológico compreende um conjunto de tecnologias bastante eficaz para redução das altas concentrações de matéria orgânica encontrada na composição de chorumes.

O tratamento biológico do chorume propicia a degradação da matéria orgânica e de outros compostos de difícil degradação de forma natural, pela ação de microorganismos que oxidam esses produtos, transformando-os em substâncias mais simples, como água e gás carbônico. Esse processo de oxidação de compostos orgânicos e inorgânicos recebe a denominação de biodegradação e pode ser realizado na presença ou na ausência de oxigênio.

A exemplo do que ocorre com a fase sólida, a biodegradação do chorume também pode ser feita por bactérias aeróbias (necessitam de oxigênio), bem como por bactérias anaeróbias (não necessitam de oxigênio). Portanto, no tratamento biológico do chorume têm-se dois tipos de processos relativos à presença ou à ausência de oxigênio: aeróbio e anaeróbio.

No processo aeróbio, a matéria orgânica é decomposta gradativamente em produtos mais simples até chegar ao gás carbônico e à água. Já nos processos anaeróbios, os produtos finais da degradação fermentativa são o metano e o gás carbônico.

No entanto, o tratamento biológico não provoca alterações nem destruição de compostos inorgânicos. Esses compostos podem ser parcialmente removidos

da massa líquida durante o processo biológico por sedimentação após adsorção pelos microorganismos.

Diversos tipos de tratamento biológico podem ser utilizados no tratamento de chorume de aterros sanitários. Entre eles, destacam-se:

- lodos ativados e suas variações;
- lagoas aeradas;
- lagoas de estabilização;
- reatores ou digestores anaeróbios de fluxo ascendente (RAFAs).

6.3.1 Lodos ativados

O sistema de lodos ativados é capaz de converter a matéria orgânica biodegradável presente no chorume em formas inorgânicas mais estáveis ou em massa celular. Esse processo é aeróbio, necessitando de oxigênio que é fornecido por equipamentos que promovem a aeração do líquido sob tratamento (Figura 2).

Em sistemas de lodos ativados tradicionais, após a unidade de sedimentação primária, a maioria do material orgânico em estado coloidal e solúvel é metabolizado por diversos grupos de microorganismos nos tanques de aeração. Esse processo gera, como produtos finais, dióxido de carbono, água e nitratos, caso haja previsão para nitrificação. Simultaneamente, uma fração considerável é convertida em massa celular e separada da fase líquida por ação da gravidade em decantadores secundários. Grande parte dessa massa retorna ao tanque de aeração, au-

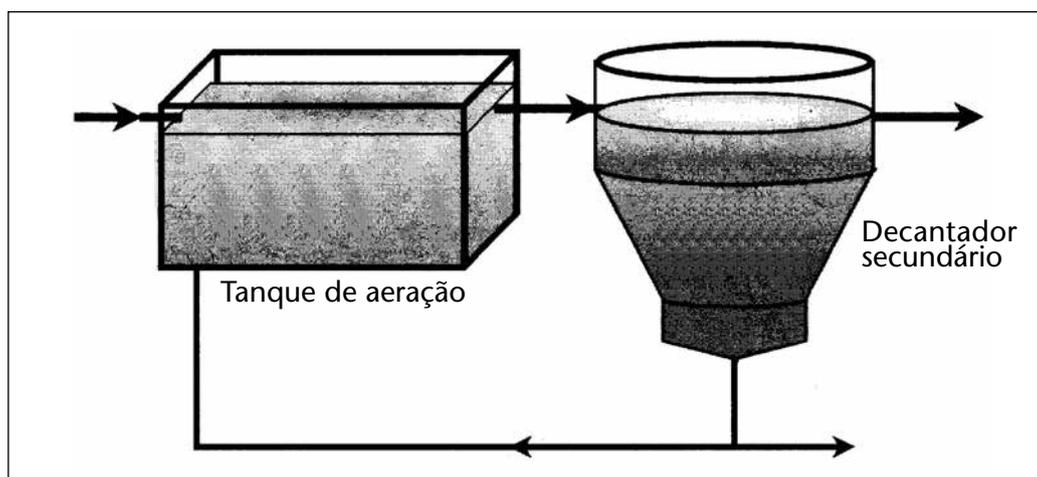


Figura 2 – Lodos ativados

mentando a concentração de microorganismos no sistema. A maior permanência dos microorganismos nas unidades, devido à recirculação dos sólidos sedimentados para o tanque de aeração, garante uma elevada eficiência nos sistemas de lodos ativados.

A cultura microbiológica atuante no processo é heterogênea e composta principalmente por bactérias, protozoários, rotíferos e, eventualmente, fungos. As bactérias desempenham o papel de assimilação da matéria orgânica existente, enquanto os protozoários e os rotíferos realizam a remoção da massa bacteriana dispersa, impedindo sua descarga com o efluente do sistema.

Com relação à idade do lodo, os sistemas de lodos ativados costumam ser divididos em: lodo ativado convencional e aeração prolongada.

Os sistemas de lodos ativados do tipo convencional possuem uma idade do lodo situada na faixa de 4 a 10 dias, enquanto que, para aeração prolongada, essa faixa varia de 15 a 30 dias usualmente.

Os fatores de maior influência na seleção deste processo são: a disponibilidade financeira, devido ao alto custo de investimento; a fonte de energia elétrica; e os custos de operação.

6.3.2 Lagoas aeradas

As lagoas aeradas são normalmente construídas com taludes de terra e funcionam como reatores biológicos de crescimento suspenso, sem recirculação de lodo, tendo profundidade de 2,5 a 5,0 m. São normalmente usados aeradores mecânicos para mistura e aeração da massa líquida. Alternativamente, as lagoas aeradas podem também ser construídas em concreto (Figura 3).

Historicamente, as lagoas aeradas foram desenvolvidas a partir de lagoas de estabilização em países com inverno mais rigoroso, quando o oxigênio necessário à estabilização dos esgotos tinha de ser fornecido por meios artificiais devido à limitação do processo de fotossíntese. Desta experiência se observou que as lagoas aeradas mantinham uma boa remoção de DBO solúvel, com tempos de detenção mais curtos que o das lagoas de estabilização facultativas, que não recebem aeração por meio de equipamentos.

Considerando unicamente o tempo de detenção e a carga orgânica volumétrica, pode-se destacar que o processo de lagoas aeradas se encontra entre o processo de lagoas facultativas e o processo de lodos ativados. Tanto em lagoas de estabilização facultativas como em lagoas aeradas, a degradação da matéria orgânica se realiza por ação das bactérias heterotróficas. Nas primeiras, a população de bactérias é pequena, sendo, portanto, necessários grandes tempos de detenção. Por outro lado, nas segundas, os mecanismos de aeração produzem uma mistura do despejo com os organismos, aumentando a densidade de biomassa, o que resulta numa redução dos tempos de detenção.

As lagoas aeradas são utilizadas para o tratamento de chorume, esgotos domésticos e despejos industriais com elevado teor de substâncias biodegradáveis.

Os fatores de maior influência na seleção de lagoas aeradas são: a disponibilidade de área, a fonte de energia elétrica e os custos de implantação e operação.

As lagoas aeradas podem ser classificadas em dois tipos: aeróbia e facultativa, dependendo do grau de turbulência e da concentração de oxigênio dissolvido no seu interior.

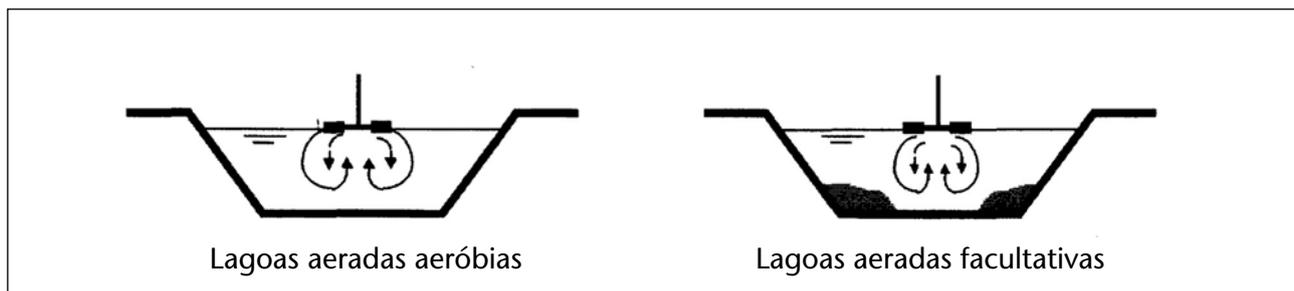


Figura 3 – Lagoas aeradas

As lagoas aeradas aeróbias são aquelas em que o nível de potência instalada é suficientemente alto para introduzir o oxigênio necessário em toda a lagoa e, também, para impedir a sedimentação dos sólidos em suspensão na lagoa.

Dependendo do tempo de detenção, o efluente das lagoas pode conter de 1/3 a 1/4 do valor da DBO afluente na forma de material celular, o que faz com que a eficiência da lagoa aerada aeróbia isoladamente seja baixa. A maior parte destes sólidos deve ser removida antes do lançamento final, necessitando-se de uma unidade de separação de sólidos.

As lagoas aeradas facultativas são aquelas em que o nível de potência instalada é suficiente para introduzir na massa líquida o oxigênio necessário ao processo, porém não é suficiente para impedir a sedimentação de boa parcela dos sólidos em suspensão. Em consequência disto, parte dos sólidos em suspensão afluentes e parte dos novos sólidos em suspensão produzidos na lagoa pela utilização da matéria orgânica tendem a se sedimentar nas áreas de menor turbulência. Esses sólidos que se sedimentaram passam a sofrer digestão anaeróbia no fundo da lagoa.

Assim sendo, tem-se na lagoa atividade biológica em condições anaeróbias em parte dela, e em condições aeróbias na sua outra parte. Em vista disso, essas lagoas recebem o nome de lagoas aeradas facultativas.

6.3.3 Lagoas de estabilização

A definição mais frequentemente utilizada para lagoas de estabilização é a de que são grandes reservatórios de pequena profundidade delimitados por diques de terra, nos quais o material orgânico, presente nas águas residuárias, é estabilizado por processos biológicos, portanto naturais, envolvendo principalmente algas e bactérias. Além de apresentarem custo muito baixo e empregarem tecnologia muito simples, possuem uma eficiência elevada no tratamento de águas residuárias (COSTA, 1992).

Os mais importantes processos que atuam no tratamento de águas residuárias por lagoas de estabilização são:

- o efeito reservatório que dá à lagoa capacidade para absorver fortes variações tanto de

cargas orgânicas quanto de vazões líquidas;

- sedimentação, permitindo que sólidos sedimentáveis sejam depositados no fundo da lagoa;
- estabilização da matéria orgânica presente no esgoto por bactérias aeróbias na presença de oxigênio e por bactérias anaeróbias na ausência de oxigênio.

Lagoas de estabilização são geralmente classificadas de acordo com a predominância do processo, seja aeróbio e/ou anaeróbio, pelo qual o material orgânico, geralmente expresso em termos do valor da DBO, é removido.

Lagoas anaeróbias operam com altas cargas orgânicas, atuam como uma unidade primária em um sistema de lagoas e baseiam-se na digestão anaeróbia para degradar matéria orgânica. Já nas lagoas facultativas ocorrem os processos anaeróbios e aeróbios. As lagoas facultativas operam com cargas orgânicas mais baixas que as utilizadas em lagoas anaeróbias, permitindo que algas se desenvolvam nas camadas mais superficiais, realizando atividade fotossintética.

As lagoas de maturação são predominantemente aeróbias em virtude da remoção da maior parte da carga orgânica afluente ao sistema ser efetuada pelas unidades precedentes que, normalmente, são lagoas anaeróbia e/ou facultativa. Sua principal função é a destruição de organismos patogênicos.

Existe um quarto tipo de lagoa, denominada de alta taxa de degradação. Essas lagoas possuem pequenas profundidades, que geralmente não ultrapassam 0,50 m e são projetadas para tratar esgoto decantado. Sua principal utilidade é a cultura e a alta produção de algas.

As lagoas anaeróbias são projetadas para funcionar como tratamento primário para chorume ou outros tipos de águas residuárias com elevadas concentrações de matéria orgânica biodegradável e alto teor de sólidos. A completa falta de oxigênio dissolvido deve-se às elevadas cargas orgânicas.

Estudos mostram que a eficiência do tratamento de chorume está diretamente ligada à temperatura do meio líquido. Remoções maiores de 90% da carga orgânica, medida em termos de DBO ou DQO,

foram verificadas em chorume detido em condições anaeróbias por cerca de 10 a 12 dias com temperaturas na faixa de 23 a 30° C. Nesse caso, a carga orgânica era de 1050 g DQO/m³.dia. A remoção de matéria orgânica reduziu-se bastante com a temperatura situada na faixa de 11 a 23° C. Nesse caso, com uma carga orgânica de 670 g DQO/m³.dia, a eficiência de remoção caiu de 87% à temperatura de 23° C para 22% à temperatura de 11° C, com períodos de retenção de 12,5 dias.

Como orientação básica, deve-se considerar que as temperaturas na faixa de 15 a 19° C são consideradas mínimas para o funcionamento do processo, sendo que, abaixo dessa faixa, a digestão não apresentará desempenho satisfatório. Nesses casos, as lagoas atuam mais como simples tanques de sedimentação e acumulação de lodos.

Estudos sobre os sistemas de tratamento e verificações sobre projetos de tratamento de águas residuárias permitem concluir que “o pré-tratamento anaeróbio é tão vantajoso que a primeira consideração em projetos de séries de lagoas deveria sempre incluir a possibilidade de pré-tratamento anaeróbio”.

Em lagoas facultativas, é possível distinguir zonas de anaerobiose e aerobiose, ou seja, zonas sem a presença do oxigênio e zonas com a presença do gás, respectivamente. As condições de aerobiose são principalmente mantidas por algas nas camadas superiores da lagoa. Essas algas se estabelecem nas lagoas por intermédio de um relacionamento simbiótico entre bactérias aeróbias e facultativas. Este relacionamento é, de fato, um sistema cíclico de trocas, no qual as bactérias metabolizam a matéria orgânica presente nas águas residuárias, produzindo, entre outros compostos, dióxido de carbono, amônia e fosfatos. As algas utilizam esses compostos inorgânicos para a formação da nova massa celular, produzida por meio de fotossíntese, liberando oxigênio ao final do processo, o qual atua como agente oxidante, e é utilizado por bactérias aeróbias e facultativas na degradação de mais matéria orgânica, completando o ciclo.

As condições de anaerobiose em lagoas facultativas são mantidas, em parte, pela camada de lodo formada no fundo das lagoas, devido à sedimentação de uma parcela da DBO afluente. A profundidade é outro fator de relevância, pois a limitação da pene-

tração dos raios solares à camada superior da massa líquida não permite que as algas se desenvolvam ao longo de toda a coluna d'água, contribuindo, desse modo, para a predominância de condições anaeróbias nas camadas mais próximas ao fundo.

Ao longo do dia também é observada uma elevação nos valores de pH em uma lagoa, provocada por uma demanda elevada de dióxido de carbono pelas algas durante os períodos de intensa atividade fotossintética. Dióxido de carbono dissolvido é retirado da massa líquida na quantidade necessária para o processo.

As lagoas de maturação são geralmente utilizadas como estágio posterior a lagoas facultativas e têm, como principal função, a destruição de microorganismos patogênicos.

Bactérias de origem fecal e vírus morrem rapidamente no que é, para eles, um meio ambiente inóspito. De fato, as lagoas de maturação devem ser projetadas principalmente para realizar a remoção de bactérias de origem fecal e vírus uma vez que a maior parte da DBO já foi removida nas unidades precedentes (lagoas facultativas e anaeróbias). Além disso, as lagoas podem ser projetadas para algumas das finalidades descritas abaixo:

- diminuir a concentração de material orgânico biodegradável;
- oxidar a amônia remanescente para nitrato;
- diminuir a concentração de sólidos suspensos;
- diminuir a concentração de nutrientes solúveis.

Diversas explicações para sua eficiência na remoção de patogênicos já foram sugeridas, tais como a presença de agentes bactericidas, bacteriófagos, predadores como rotíferos e vários protozoários, elevados valores de pH, deficiência de nutrientes, competição entre as diversas espécies de organismos, variação de temperatura e ação da luz solar.

As lagoas de maturação são geralmente rasas, com profundidades variando na faixa de 1,2 a 1,5 m para manter suas condições aeróbias, mas com a vantagem adicional que a remoção de vírus é indiscutivelmente melhor nas lagoas mais rasas do que nas lagoas mais profundas. Lagoas de maturação são pre-

dominantemente aeróbias e capazes de manter essas condições de aerobiose até profundidades de 3,0 m.

As lagoas de maturação geralmente são projetadas com a mesma profundidade das lagoas facultativas a que estão associadas devido a duas causas principais:

- como são menos turvas que outras lagoas, a luz solar pode penetrar até o fundo das lagoas, favorecendo o desenvolvimento de algas e bactérias cianofíceas que, por meio de atividade fotossintética, produzem oxigênio;
- suas cargas orgânicas são mais baixas que aquelas aplicadas às lagoas facultativas; portanto, menos oxigênio é requerido para a degradação aeróbia da matéria orgânica.

O número de lagoas de estabilização em série é geralmente determinado pelo grau de tratamento desejado e pelas soluções alternativas de tempos de retenção que permitem ao projetista definir as mais adequadas combinações quanto ao número de lagoas.

Uma lagoa anaeróbia, seguida de uma facultativa e um número N de lagoas de maturação, tem se tornado a configuração mais usual em projetos de sistemas de lagoas em série.

Estudos concluíram que o efluente final de uma série de lagoas apresentava melhor qualidade do que um sistema representado por uma única lagoa de mesma área, em virtude de uma série de lagoas se aproximar, no conjunto, a um reator de carga não dispersa, que é comprovadamente mais eficiente do que um reator de carga totalmente dispersa¹³.

A possibilidade de combinação de diferentes tipos de lagoas permite observar melhor o comportamento de cada uma em relação ao conjunto, permitindo delinear seus campos de atuação com mais perfeição. Tal arranjo proporciona um aumento na eficiência do conjunto quando comparado a uma única unidade, principalmente na remoção de organismos patogênicos existentes nas águas residuárias.

Essa particularidade torna-se de suma importância, principalmente se for levado em conta o destino que deve ser dado ao efluente final, e os problemas que esse lançamento poderão acarretar ao corpo receptor.

Em decorrência da fundamental importância de uma série de lagoas, incluindo unidades de maturação na remoção de organismos patogênicos, considerou-se verdadeira falha de engenharia o projeto e construção de um sistema constituído por uma única lagoa para tratamento de águas residuárias.

6.3.4 Reator ou digestor anaeróbio de fluxo ascendente (RAFA)

O reator anaeróbio de fluxo ascendente é um sistema de tratamento anaeróbio de grande potencial de aplicação no tratamento de chorume. Dezenas de sistemas em escala real estão em operação no tratamento de efluentes com alta carga orgânica. Dessa forma, a aplicabilidade ao tratamento de chorume apresenta-se como alternativa privilegiada, principalmente devido à pequena área requerida, ao baixo custo de implantação e à relativa simplicidade de operação.

Em termos de processo, o dispositivo mais característico do RAFA é o separador de fases. Este é colocado no reator e o divide em uma parte inferior ou zona de digestão, onde há um leito ou, como se costuma designar, uma manta de lodo responsável pela digestão anaeróbia, e uma parte superior ou zona de sedimentação. A água residuária entra pelo fundo do reator anaeróbio e segue uma trajetória ascendente, passando pela zona de digestão, atravessando uma abertura existente no separador de fases e entrando para a zona de sedimentação. Quando a água residuária entra no reator, ocorre a mistura do material orgânico nela presente com o lodo anaeróbio presente na zona de digestão, propiciando então a digestão anaeróbia, o que resulta na produção de biogás e no crescimento de lodo.

O líquido escoar no sentido ascendente e passa pelas aberturas que existem no separador de fases para a parte superior do reator. Devido à forma do separador de fases, a área disponível para o escoamento ascensional do líquido, na parte superior, aumenta à medida que o líquido se aproxima da superfície de água. Em consequência, a velocidade do líquido diminui. Desse modo, flocos de lodo, que são arrastados e passam pelas aberturas no separador de fases para a parte superior do reator, encontrarão uma zona tranquila. Nessa zona é possível que a velocidade de sedimentação de uma partícula se tor-

ne maior que a velocidade de arraste pelo líquido numa determinada altura. Nessas condições, a partícula acabará sendo depositada sobre a superfície inclinada do separador de fases. Quando uma massa suficientemente grande de sólidos for acumulada, o peso aparente desses sólidos se tornará maior que a força de atrito, de modo que os sólidos deslizem, entrando novamente na zona de digestão na parte inferior do reator. Dessa maneira, a presença de uma zona de sedimentação acima do separador de fases resulta na retenção do lodo, permitindo a presença de uma grande massa na zona de digestão, enquanto se descarrega um efluente substancialmente livre de sólidos sedimentáveis.

As bolhas de biogás que se formam na zona de digestão sobem na fase líquida até encontrarem uma interface líquido-gás presente abaixo do separador de fases. Nesta interface, as bolhas se desprendem, formando uma fase gasosa. Flocos de lodo, eventualmente aderidos às bolhas, podem subir até a interface, mas, após o desprendimento do gás, tenderão a decantar para novamente fazer parte da massa de lodo na zona de digestão. As bolhas de gás que se formam em posições situadas na projeção vertical abaixo das aberturas do separador de fases (necessárias para o escoamento da fase líquida para a parte superior do reator) precisam ser desviadas para evitar que passem pelas mesmas aberturas, criando turbulência na zona de sedimentação. Para tanto, são colocados obstáculos que funcionam como defletores de gás abaixo das aberturas.

No caso do esgoto doméstico, os RAFAs de alta taxa são projetados com volumes bem mais reduzidos que os RAFAs convencionais, razão pela qual a entrada de sólidos não biodegradáveis no sistema traz prejuízo ao processo de tratamento. A acumulação desse material no reator leva à formação de zonas mortas e de caminhos preferenciais, diminuindo significativamente o volume de biomassa no sistema e a eficiência do processo de tratamento.

Dessa forma, o tratamento de esgotos por reatores de alta taxa só é possível caso o fluxograma da estação de tratamento incorpore unidades de tratamento preliminar (gradeamento e caixa de areia) destinadas à remoção dos sólidos grosseiros e dos sólidos inorgânicos sedimentáveis. Esta observação também se revela verdadeira no caso de chorume.

O processo anaeróbio por RAFAs de manta de lodo apresenta inúmeras vantagens em relação aos processos aeróbios convencionais, principalmente quando aplicado em locais de clima quente, como é o caso da maioria dos municípios brasileiros. Nessas situações, pode-se esperar um sistema com as seguintes características principais:

- sistema compacto, com baixa demanda de área;
- baixo custo de implantação e de operação;
- baixa produção de lodo;
- baixo consumo de energia (apenas para a elevatória de chegada quando for o caso);
- eficiência satisfatória de remoção de DBO/DQO;
- possibilidade de rápido reinício mesmo após longas paralisações;
- elevada concentração do lodo excedente;
- boa capacidade de desidratação do lodo.

Embora os reatores anaeróbios incluam amplas vantagens, principalmente no que diz respeito a requisitos de área, simplicidade e baixos custos de projeto, operação e manutenção, algumas desvantagens ainda são atribuídas aos mesmos:

- possibilidade de emissão de maus odores;
- baixa capacidade do sistema em tolerar cargas tóxicas;
- elevado intervalo de tempo necessário para a partida do sistema;
- necessidade de uma etapa de pós-tratamento.

Quando bem projetado, construído e operado, o sistema não deve apresentar problemas de mau cheiro e de falhas devido à presença de elementos tóxicos e/ou inibidores.

Como não se dispõem de dados relativos à partida de reatores anaeróbios de fluxo ascendente no tratamento de chorume, pode-se considerar válidas, preliminarmente, as observações referentes ao reator quando trata esgoto doméstico. A partida do sistema pode ser realmente lenta (4 a 6 meses), mas apenas em situações em que não são utilizados inó-

culos, ou seja, material orgânico em processo de decomposição anaeróbia por bactérias. Nos últimos anos, com a utilização de metodologias de partida bem fundamentadas e com o estabelecimento de rotinas operacionais adequadas, foram conseguidos avanços significativos no sentido de diminuir o período de partida dos sistemas e de minimizar os problemas operacionais nessa fase. Em situações já relatadas¹⁴, quando foram utilizadas pequenas quantidades de inóculo (inferior a 4% do volume do reator), o período de partida foi reduzido a duas ou três semanas. De qualquer forma, a qualidade da biomassa a ser desenvolvida no sistema dependerá de uma rotina operacional adequada e, por conseguinte, da estabilidade e da eficiência do processo de tratamento¹⁵.

Apesar das grandes vantagens dos sistemas anaeróbios, os mesmos têm dificuldades em produzir um efluente que se enquadre nos padrões estabelecidos pela legislação ambiental. Tal aspecto ganha relevância na medida em que os órgãos ambientais estaduais têm intensificado sua fiscalização e atuado efetivamente no licenciamento ambiental de novos empreendimentos no setor de saneamento.

6.4 Recirculação do Chorume

Uma técnica atual e bastante inovadora no tratamento de chorume é a recirculação do líquido para o interior do aterro sanitário de maneira que ele possa percolar através da massa de sólidos disposta em camadas, reduzindo consideravelmente a demanda sobre as estações de tratamento, visto que esse pré-tratamento interno diminuirá as concentrações de DBO e DQO.

Essa técnica combina o pré-tratamento anaeróbio no interior do aterro, que atua como um reator de leito fixo, com a evaporação que ocorre a cada recirculação. Ela utiliza o aterro como um reator anaeróbio, produzindo um eficiente tratamento anaeróbio, que é capaz de reduzir a elevada carga orgânica presente nesse tipo de efluente, de concentrações da ordem de 20.000 mg/L para 1.000 mg/L, após o período de um ano de coleta e reaplicação do chorume no aterro sanitário¹.

Uma vez que as elevadas concentrações de DBO e DQO são causadas pelos ácidos orgânicos gerados

na decomposição dos resíduos sólidos no interior do aterro, uma forma de reduzir essas concentrações é o aumento da produção de metano por meio de melhorias nas condições operacionais de recirculação.

A recirculação do chorume proporciona o rápido desenvolvimento de uma população de bactérias anaeróbias ativas produtoras de metano¹⁸.

A irrigação na forma de *spray* sobre o aterro pode proporcionar uma parcial evaporação do líquido recirculado. Outros métodos utilizados para dispersão desse líquido são: lançamento na superfície e infiltração no interior do aterro.

Além de promover uma redução na concentração de DQO presente no chorume, a recirculação também favorece a diminuição das concentrações de DBO, COT (carbono orgânico total), ácidos voláteis, fosfatos, nitrogênio amoniacal e sólidos totais dissolvidos. No entanto, apresenta baixa eficiência na redução de nitrogênio e fósforo, que geralmente apresentam altas concentrações remanescentes no líquido recirculado.

Dentre as vantagens apresentadas pela recirculação do chorume, destacam-se¹:

- aceleração da estabilização do aterro sanitário;
- redução assegurada dos compostos orgânicos presentes no chorume;
- possível diminuição de volume devido à evapotranspiração;
- redução nos custos envolvidos no tratamento de chorume.

No entanto, as possíveis vantagens apresentadas pela recirculação são acompanhadas das seguintes desvantagens e riscos à saúde humana:

- risco de poluição do solo e de águas subterrâneas pela infiltração do excesso de chorume recirculado, no caso de inexistência ou dano da camada impermeabilizante da parte inferior do aterro;
- os múltiplos arrastes de substâncias ocorridos no líquido recirculado podem resultar em altas concentrações de sais e metais pesados no chorume;
- custos elevados referentes à implantação e manutenção de sistemas de recirculação;

- problemas relacionados com odor.

Os resultados obtidos em estudos realizados em três escalas envolvendo ensaios em células e seções de aterros sanitários, com ou sem recirculação, assim como ensaios em escala real em aterros sanitários equipados com recirculação, podem ser resumidos em¹⁶:

- a recirculação realmente proporcionou uma rápida diminuição das concentrações de DBO e DQO do chorume;
- não ficou completamente comprovado que a recirculação poderia aumentar a estabilização ou a quantidade de gás produzida pelo aterro;
- a recirculação do chorume em dois estágios pode ser utilizada como vantagem econômica e pode ser considerada como um pré-tratamento no qual o próprio aterro sanitário atua como um reator anaeróbio de leito fixo.

6.5 Tratamento Físico-Químico

O chorume pode ter sua carga orgânica, química e particulada atenuada e, em alguns casos, até eliminada por métodos físicos e químicos. O conjunto de técnicas empregadas para este fim denomina-se tratamento físico-químico.

O tratamento físico-químico é frequentemente utilizado em combinação com o tratamento biológico. Neste caso, sua função é eliminar particulados, componentes orgânicos refratários e espécies químicas indesejáveis no efluente final, como os metais pesados.

As principais técnicas utilizadas para este fim são: diluição; filtração; coagulação; floculação; precipitação; sedimentação; adsorção/absorção; troca iônica; oxidação química; osmose reversa; lavagem com ar; ultrafiltração; oxidação; evaporação natural e vaporização. A seguir são descritas, de forma sintética, cada uma das técnicas.

A diluição age reduzindo a concentração dos componentes do chorume pela sua mistura com água. Determinados compostos, como cloretos, nitratos, carbonatos e sulfatos, são de difícil remoção e quando presentes em levadas concentrações vão exigir a diluição do chorume previamente a seu tratamento.

O uso de filtração é recomendado para diminuir a concentração de sólidos em suspensão. É normalmente empregada como pré-tratamento de outros tratamentos mais caros e avançados. Consiste em passar o chorume através de um leito filtrante de forma a reter partículas de tamanho médio pré-definido. Os leitos filtrantes podem ser formados por filtros ou membranas industrializadas ou por materiais como areia, terra diatomácea, antracitos, etc. Os sólidos em suspensão são retidos no leito filtrante, que periodicamente é trocado ou lavado em contrafluxo.

As operações de coagulação, floculação, precipitação e sedimentação são empregadas em conjunto, com a finalidade de remover substâncias precipitáveis, como metais pesados e compostos orgânicos em solução no chorume, além de partículas coloidais em suspensão. A coagulação e a floculação são operações que permitem a aglomeração de partículas muito pequenas, formando coágulos ou flocos maiores, mais sensíveis à decantação. Precipitação é o processo físico-químico no qual uma substância solúvel é transformada em insolúvel ou menos solúvel. As operações de coagulação, floculação e precipitação são realizadas pela adição de produtos adequados a esta finalidade ou pela alteração das condições físico-químicas do meio, como pH e temperatura. A sedimentação é um processo físico promovido pela gravidade que age sobre as partículas superficiais ou dispersas pelo meio líquido. O uso combinado destas quatro operações requer instalações, equipamentos e produtos químicos definidos para cada caso particular em função dos volumes a serem tratados e da composição do chorume.

Uma série de espécies químicas dissolvidas no chorume, iônicas ou orgânicas, como, por exemplo, metais pesados, outros íons metálicos e uma grande variedade de produtos orgânicos, são passíveis de serem adsorvidos ou absorvidos em matrizes sólidas adequadas, como o carvão ativo. Alternativamente, ainda em estágio experimental, têm-se matrizes de biomassa microbiana ou vegetal¹⁷. Esta operação denomina-se adsorção ou absorção. O chorume previamente tratado (filtração, sedimentação de particulados, ajuste de pH e outros condicionamentos cabíveis) é passado por um leito contendo a matriz ativada, onde ficarão adsorvidos ou absorvidos os íons ou os produtos orgânicos sensíveis a esta operação de remoção. A matriz, com o uso, fica saturada, devendo ser periodicamente trocada ou regenerada.

Metais pesados, ânions tóxicos e outros minerais podem ser removidos do chorume pelo emprego de técnicas especiais, às vezes financeiramente custosas, como a troca iônica, osmose reversa e ultrafiltração. Na troca iônica, o chorume previamente condicionado é passado por um leito contendo, via de regra, resinas especiais que retêm determinadas espécies químicas solúveis, como, por exemplo, alguns metais pesados e ânions tóxicos, substituindo-os por íons não-tóxicos, mantendo o equilíbrio iônico do chorume.

A osmose reversa é um processo de desmineralização, onde o líquido, previamente condicionado, é permeado através de uma membrana especial, semipermeável, que permite a passagem de determinados íons e moléculas (como, por exemplo, as moléculas de água) em um processo regido pelo fenômeno da pressão osmótica que é mecanicamente revertida. As membranas mais comuns são de acetato de celulose ou de poliamidas. São empregados módulos especiais pressurizáveis, contendo estas membranas. A ultrafiltração, similarmente à osmose reversa, utiliza módulos especiais pressurizáveis, contendo membranas adequadas para reter determinados íons ou moléculas, enquanto permite a passagem de outros. Estas três operações são, em geral, custosas financeiramente, sendo aplicadas apenas em polimentos finais ou casos especiais.

A oxidação direta de cianetos, fenóis, diversos compostos orgânicos e alguns íons metálicos é realizada pelas reações de oxidorredução, promovida na maioria das vezes por oxidantes, como oxigênio puro, ozônio, cloro, peróxido de hidrogênio ou permanganato de potássio. A oxidação direta pode ser usada como pré-tratamento de alguns processos e

pós-tratamento para remoção de traços de contaminantes em outros. Seu uso requer instalações especiais, onde o oxidante é adicionado e misturado lentamente. Há liberação de calor, de forma que pode ser necessário o resfriamento posterior quando da oxidação de soluções concentradas. O uso de oxidação direta é indicado para remoção de hidrocarbonetos clorados e pesticidas em soluções diluídas.

Em alguns casos, o efluente líquido pode ser concentrado pela evaporação direta ou forçada. A evaporação direta pode ser realizada em locais de alta insolação. O material é disposto em lagoas e concentrado pela ação do calor ambiente. Devem ser tomados cuidados visando evitar a poluição e a contaminação do solo e do lençol freático a exemplo do que ocorre com as lagoas de estabilização.

No caso de resíduos perigosos, pode ser utilizada a evaporação forçada (vaporização). O efluente é submetido à evaporação em tanques. Como resultado, obtem-se uma corrente líquida, formada por uma solução diluída de materiais voláteis (amônia, organoclorado), e uma polpa com os resíduos sólidos originalmente presentes no efluente. O processo de vaporização gera incrustações, espuma e pode provocar corrosão.

A remoção de materiais voláteis pode ser obtida por lavagem do efluente líquido com ar. Este, em grande quantidade, é borbulhado através do efluente e arrasta materiais como amônia e matéria orgânica volátil. Este processo, conhecido como *air stripping*, pode ter eficiência de até 90% na remoção de voláteis. Quando a lavagem é realizada em equipamentos fechados, os voláteis podem ser recuperados da corrente gasosa.

BIBLIOGRAFIA

1. QASIM, S.R., CHIANG, W. 1994. *Sanitary landfill leachate generation, control and treatment*. Lancaster : Technomic.
2. USEPA. 1979. *Investigation of sanitary landfill behavior*. Ohio : United States. Environmental Protection Agency.
3. TUCCI, C.E.M. 1993. *Hidrologia: ciência e aplicação*. São Paulo : Universidade Federal do Rio Grande do Sul/Edusp.
4. LO, I.M.C. 1996. Characteristics and treatment of leachates from domestic landfills. *Environment International*, v.22, n.4, p.433-442.
5. FANE, A.G., RADOVICH, J.M. 1990. Membrane systems. In: ASENJO, J.A. (Ed.). 1990. *Separation processes in biotechnology*. New York : Marcel Dekker. 801p.
5. FORESTI, E., FLORÊNCIO, L., VAN HAANDEL, A., ZAIAT, M., CAVALCANTI, P.F.F. 1999. Fundamentos do tratamento anaeróbio. In: TRATAMENTO de esgotos por processo anaeróbio e disposição controlada no solo. Rio de Janeiro : ABES.
6. LIMA, L.M.Q. 1995. *Lixo: tratamento e biorremediação*. 3.ed. São Paulo : Hemus.

CAPÍTULO VI
TRATAMENTO DE EFLUENTES LÍQUIDOS DE ATERROS SANITÁRIOS

7. CHRISTENSEN, T.H., COSSU, R., STEGMANN, R. 1989. *Sanitary landfilling: process, technology and environmental impact*. London : Academic Press.
8. CETESB. 1979. *Limpeza pública*. São Paulo : Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental.
10. ROBINSON, H.D., MARIS, P.J. 1979. *Leachate from domestic waste: generation, composition and treatment. A review*. [s.l.] : Water Research Centre. (Technical Report, TR 108).
11. COSTA, A.J.M.P. 1999. *Estudo de tratabilidade de água residuária sintética simulando despejo líquido de coqueria*. São Paulo. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.
12. CEPIS/GTZ. 1992. Plantas de evacuación y tratamiento de lixiviados. Traducción interna del proyecto Cepis/GTZ: Fortalecimiento Técnico de Cepis. San Jose, Costa Rica. (PN. 88.2065.6-03.100).
13. COSTA, A.J.M.P. 1992. *Avaliação do desempenho de uma série longa de lagoas de estabilização, na remoção de matéria orgânica e coliformes fecais, tratando esgotos domésticos no Nordeste do Brasil*. Campina Grande. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal da Paraíba.
14. CHERNICHARO, C.A.L., BORGES, J.M. 1996. Metodologia utilizada durante a partida de um reator UASB de 477 m³ tratando esgotos tipicamente domésticos. In: CONGRESSO INTERAMERICANO DE INGENIERIA SANITARIA Y AMBIENTAL, 25, 1996, México. *Anais...* Tomo 1, v.2, p.655-661.
15. VAN HAANDEL, A.C., LETTINGA, G. 1994. *Tratamento anaeróbico de esgotos: um manual para regiões de clima quente*. Campina Grande : Epgraf.
16. DOEDENS, H., CORD-LANDWHEIR, K. 1989. Leachate recirculation. In: *SANITARY landfilling: process, technology and environmental impact*. San Diego : Academic Press. p.231-249.
17. URENHA, L.C., ALLI, R.C.P. 1991. *Recuperação de íons metálicos em efluentes industriais por biomassa microbiana*. Apresentado no Seminário sobre Recuperação de Rejeitos da Indústria Metalúrgica, ABM, São Paulo, 20 a 22 de novembro.
17. ALLI, R.C.P., URENHA, L.C., KIM, H.S. 1991. *Remoção de metais pesados de efluentes industriais por biomassa microbiana: uma revisão da literatura*. Apresentado no IX Simpósio Nacional de Fermentações, Santos (SP), 22 a 26 de setembro.
18. LECKIE, J.O., PACEY, J.G., HALVADAKIS, C. 1979. Landfill management with moisture control. *Journal of Environmental Engineering Division*, ASCE, v.105, n.EE2, p.337-355.

LIXO MUNICIPAL
MANUAL DE GERENCIAMENTO INTEGRADO

CAPÍTULO VII

LEGISLAÇÃO E LICENCIAMENTO AMBIENTAL

1 LEGISLAÇÃO AMBIENTAL

1.1 Introdução

A legislação ambiental brasileira sofreu considerável avanço nas últimas décadas. Hoje, existe, no cenário nacional, um amplo aparato normativo que demonstra a tutela jurídica do meio ambiente em nosso País. Entre os destaques está a Lei Nacional de Saneamento Básico, aprovada em 2007, estabelecendo diretrizes para o saneamento, incluindo o tratamento do lixo, e considera a triagem e a reciclagem do lixo como parte do serviço de limpeza urbana, reconhecendo os catadores como agentes desse processo.

Tramitou desde 1991 no Congresso Nacional o projeto de lei que estabeleceu a Política Nacional de Resíduos Sólidos, aprovada em 02 de agosto de 2010 (Lei nº 12.305), e regulamentada em 23 de dezembro do mesmo ano (Decreto nº 7.404). A nova legislação aprovada estabelece a responsabilidade compartilhada e inclui pontos importantes, como o princípio da logística reversa, que estimula o reaproveitamento dos resíduos ao prever o retorno dos produtos já utilizados para um novo ciclo produtivo. Outro aspecto fundamental é a consagração do viés social da reciclagem, com participação formal dos catadores organizados em cooperativas.^{4,5}

O aspecto institucional circunscreve-se, de certa forma, à atuação integrada do Sistema Nacional do Meio Ambiente – SISNAMA, criado com a Lei nº 6.938/81, que representa um conjunto articulado de órgãos, entidades, regras e práticas da União, do Distrito Federal, dos estados e dos municípios, responsáveis pela proteção da qualidade ambiental.

A questão central é posicionar os municípios em relação à legislação ambiental vigente e quanto a sua participação no SISNAMA. A grande maioria dos prefeitos e vereadores brasileiros ignora o fato de todo município ser um integrante do SISNAMA. Desconhece, também, as atribuições e possibilidades que resultam dessa participação formal.

A Constituição de 1988, em seu artigo 23, incisos III, IV, VI e VII, confere aos municípios a competência para a proteção ambiental, em comum com a União e os estados. Apesar da competência outorgada, os municípios têm permanecido mais no âmbi-

ESTRUTURA DO SISNAMA (Sistema Nacional do Meio Ambiente)

I – Órgão Superior

Conselho do governo

Sua função é auxiliar o Presidente da República na formulação da política nacional do meio ambiente.

II – Órgão Consultivo e deliberativo

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente

Sua finalidade é estudar e propor diretrizes e políticas governamentais para o meio ambiente e deliberar, no âmbito de sua competência, sobre normas, padrões e critérios de controle ambiental. O CONAMA assim procede por intermédio de suas resoluções.

III – Órgão Central

Ministério do Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e da Amazônia Legal

Encarregado de planejar, coordenar e supervisionar as ações relativas à política nacional do meio ambiente. Como órgão federal, implementa os acordos internacionais na área ambiental.

IV – Órgão Executor

IBAMA – Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis

Entidade autárquica, dotada de personalidade jurídica de direito público e autonomia administrativa, é a encarregada da execução da política nacional para o meio ambiente e sua fiscalização.

V – Órgãos Seccionais

São as entidades estaduais responsáveis pela execução de programas e projetos de controle e fiscalização das atividades potencialmente poluidoras (Secretarias Estaduais de Meio Ambiente e entidades supervisionadas, como a Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental – CETESB, no Estado de São Paulo, e a Fundação Estadual de Engenharia do Meio Ambiente – FEEMA, no Estado do Rio de Janeiro).

VI – Órgãos Locais

Entidades ou Órgãos Municipais

São órgãos ou entidades municipais voltados para o meio ambiente responsáveis por avaliar e estabelecer normas, critérios e padrões relativos ao controle e à manutenção da qualidade do meio ambiente com vistas ao uso racional de seus recursos, supletivamente ao Estado e à União.

to da execução da legislação em vigor e não no de criar leis sobre o assunto, conforme facultado pelo artigo 30, inciso II da Constituição, que reconhece aos municípios a competência para suplementar a legislação federal e a estadual em matéria ambiental.

Os municípios têm competência para organizar e prestar os serviços públicos de interesse local, aí inserindo-se as tarefas de limpeza pública: coleta, transporte, tratamento e disposição de lixo municipal.

1.2 Instrumentos de Planejamento Municipal e a Limpeza Urbana

A limpeza urbana, o tratamento e a disposição final do lixo estão inscritos num conjunto de ações do poder local que visam o bem-estar da população e a proteção do meio ambiente. Em âmbito mais restrito, faz parte das ações de saneamento ambiental, em conjunto com o abastecimento de água, o tratamento dos esgotos sanitários e a drenagem pluvial, as quais objetivam minimizar as condições nocivas que possam afetar a saúde humana. As ações de saneamento ambiental, portanto, interagem intimamente com as de habitação e saúde, constituindo fator decisivo para a qualidade de vida e o desenvolvimento social.

O conjunto de intervenções do poder público local sempre expressa algum grau de planejamento mais ou menos abrangente e explícito. Pode-se entender o planejamento como um processo contínuo em que os planos são meios que norteiam e integram o trabalho de toda a administração municipal, refletindo a capacidade da administração em responder aos anseios imediatos e estratégicos da comunidade.

A Constituição Federal exige a edição de quatro leis que, articuladas, compõem a base do sistema de planejamento municipal:

- **Plano Diretor:** instrumento básico da política de desenvolvimento municipal, obrigatório para municípios com mais de 20.000 habitantes (no caso da Constituição de São Paulo, a exigência foi estendida a todos os municípios).
- **Plano Plurianual:** deve estabelecer as diretrizes, os objetivos e as metas da administração pública para as despesas de capital e outras delas decorrentes e para as relativas aos programas de duração continuada, como é o caso do Plano Municipal de Saneamento Básico.

- **Diretrizes Orçamentárias:** compreendem as metas e prioridades da administração pública, incluindo as despesas de capital para o exercício financeiro subsequente, além de outras disposições.
- **Orçamentos Anuais:** abrangem os orçamentos fiscal, de investimento e de seguridade social. Pode-se distinguir três categorias de instrumentos de planejamento:
 - os **legais**, mais ou menos abrangentes, tais como as leis de plano diretor de desenvolvimento, de uso e ocupação do solo, de parcelamento do solo, etc.;
 - os de **gerenciamento**, como os programas, projetos e orçamentos;
 - os **executivos**, a exemplo da prestação de serviços públicos, execução de obras, provisão de bens como terrenos e materiais, etc.

Serão discutidos, a seguir, os instrumentos normativos que podem condicionar a prestação do serviço de limpeza urbana com a intenção de chamar a atenção sobre a inserção desse serviço no conjunto das ações de planejamento municipal.

1.2.1 Instrumentos legais de planejamento

PLANO DIRETOR

É o instrumento legal básico da política de desenvolvimento municipal.

CONTEÚDO

Em matéria ambiental de planejamento, o Plano Diretor deve:

- condicionar o processo de desenvolvimento local por intermédio de diretrizes básicas para formulação de planos, programas, projetos e obras;
- evitar a ocupação desordenada do espaço urbano e rural;
- apontar critérios para definição de áreas de destinos dos resíduos domiciliares, industriais, hospitalares, entulho e perigosos.

ATENÇÃO!

- Considerar, no Plano Diretor, a totalidade do território do município – espaços urbano e rural.
- Articular o Plano Diretor com o Plano Plurianual, a Lei de Diretrizes Orçamentárias e o Orçamento Anual.

LEI DE USO E OCUPAÇÃO DO SOLO

É o instrumento legal específico de cada município e obrigatório para o controle do uso, da densidade populacional, da localização, da finalidade, da dimensão e do volume das construções, com o fim de atender à função social da propriedade e da cidade. É conhecida também como lei de Zoneamento.

ATENÇÃO!

- É o meio legal de estabelecer zonas específicas para a instalação de área para o destino final dos resíduos sólidos e para o tratamento de esgoto, entre outras.
- Poderá prever a avaliação de EIA/RIMA ou laudos técnicos para empreendimentos públicos e privados de grande porte que possam degradar a qualidade do meio ambiente.
- Poderá prever sanções administrativas (multas e recuperação da área degradada) no caso de descumprimento da lei.

LEI DE PARCELAMENTO DO SOLO URBANO

É um instrumento legal capaz de ordenar a divisão do solo para fins urbanos, definindo tamanho de lote e porcentual de áreas públicas.

ATENÇÃO!

- A Lei Federal nº 6.766/79 dispõe sobre as normas gerais.
- A lei municipal é que dá diretrizes urbanísticas aos loteamentos, conforme o interesse local.
- Esta lei não deverá permitir o parcelamento do solo, em terrenos que possam ser nocivos à saúde pública, a exemplo de áreas de antigos aterros ou lixões não estabilizados.
- O parcelamento do solo rural é competência da União nos termos do Decreto-Lei nº 57/66.

LEI ORÇAMENTÁRIA

É o instrumento legal que estima a receita e fixa as despesas anuais do município.

CONTEÚDO

Dentre outras disposições, pode:

- prever as despesas do Serviço de Limpeza Pública, considerando-se as componentes de varrição, coleta (tradicional, diferenciada e seletiva), transporte, tratamentos (triagem, compostagem, incineração e reciclagem) e disposição final, conforme o caso específico do município;
- fixar os custos de obras, projetos, equipamentos, treinadores de pessoal, etc.;
- fixar os gastos com a formação e manutenção do Consórcio Intermunicipal e/ou convênios.

ATENÇÃO!

- A formação de Consórcio Intermunicipal depende de previsão na Lei Orçamentária.

CÓDIGO TRIBUTÁRIO

É o instrumento legal por meio do qual pode-se prever incentivos tributários (isenção e remissão) para o contribuinte que preserva, protege e conserva o meio ambiente.

CONTEÚDO

Este instrumento pode prever, dentre outras:

- instituição de taxa diferenciada de limpeza pública para aqueles que aderirem a programas de coleta seletiva;
- cobrança de contribuição de melhoria ambiental ou sobre uso particular de recursos naturais com fins econômicos.

ATENÇÃO!

O município que não dispõe de seu próprio Código Tributário poderá se utilizar dos princípios e regras da Constituição Federal, do Código Tributário Nacional e de legislação municipal específica.

CÓDIGO DE OBRAS

É um instrumento de limitação administrativa que disciplina as edificações, com o fim de preservar suas condições de higiene, saúde e segurança.

CONTEÚDO

Este instrumento, dentre outras exigências, pode:

- exigir equipamento para o tratamento prévio de esgoto e/ou aplicação de métodos adequados de controle e tratamento de efluentes antes de serem lançados nos cursos d'água.

ATENÇÃO!

- O município que não dispõe de seu próprio Código de Obras poderá se utilizar do Código Estadual Sanitário.

CÓDIGO DE POSTURAS

É o instrumento legal que visa regular a utilização de espaços públicos ou de uso coletivo.

CONTEÚDO

Este instrumento poderá prever disposições para:

- exigir a limpeza e o cercamento de terrenos urbanos vazios, para assim evitar o surgimento de áreas de descarga clandestinas;
- implantar com a ajuda da população, a coleta seletiva do lixo urbano;
- disciplinar e fiscalizar (com a previsão de multas) a colocação do lixo e outros sólidos ou líquidos nas calçadas e vias públicas.

1.3 Referências legais para o Serviço de limpeza Urbana

A Constituição concedeu ao município a competência para organizar e prestar os serviços públicos de interesse local, o que expressa sua autonomia administrativa. Portanto, prover sobre limpeza das vias e logradouros públicos, remoção e destino do lixo domiciliar e de outros resíduos é competência municipal, assim como captação, tratamento e distribuição de água, coleta e tratamento de esgotos, obras de drenagem e limpeza de bueiros e córregos, iluminação pública, pavimentação, transporte coletivo e tráfego, vigilância sanitária, feiras e mercados, serviço funerário, serviço de bombeiros, etc. Os municípios detêm larga tradição na prestação desses serviços, seja individualmente ou em cooperação com outros municípios, Governo Estadual e Federal.

Como a instituição de serviços públicos municipais deve estar prevista na Lei Orgânica Municipal, esta deve ser consultada para se averiguar a existência de princípios e diretrizes gerais que condicionem as ações pretendidas. A prestação dos serviços públicos pode ser feita de forma centralizada ou descentralizada.

FORMAS DE ADMINISTRAÇÃO DA LIMPEZA URBANA

<i>Administração Centralizada</i>	<i>Administração Descentralizada</i>
Serviço executado pela própria Prefeitura Municipal	Serviço executado por terceiros escolhidos pela Administração Pública.

- 1) na administração centralizada, a limpeza urbana deve estar instituída em lei que cria o serviço e regulamenta suas atividades;
 - o serviço poderá ser executado por órgãos e servidores do município – uma secretaria, uma divisão, um serviço ou um departamento (administração direta).
- 2) na administração descentralizada, o serviço será executado por pessoa com personalidade jurídica distinta do município. Nesse caso, o serviço poderá ser executado sob o regime de:

Contratação		Consórcio Intermunicipal
<i>Permissão</i>	<i>Concessão</i>	
Ato administrativo precário pelo qual o Poder Público faculta ao particular a execução de serviços de interesse coletivo.	Contrato administrativo pelo qual a administração pública delega a outrem a execução de um serviço público.	Acordo firmado entre municípios para a realização de objetivos ou interesses comuns.

A Lei nº 8.987, de 13 de fevereiro de 1995, dispõe sobre o regime de concessão e permissão da prestação de serviços públicos, enfocando os seguintes aspectos:

- os contratos de concessão e os termos de permissão estabelecerão condições que assegurem ao município a regulamentação e a fiscalização sobre a prestação dos serviços transferidos conforme dispuser a lei. Essa também deverá assegurar que o município retome o serviço sempre que este se tornar insuficiente ou for prestado em desacordo com os termos e condições de outorga. A titularidade do serviço pertence ao Poder Público;
- a outorga de permissão ou concessão de serviço municipal dependerá de autorização legislativa e de licitação. Quando o prestador do serviço for entidade criada com esse objetivo pelo município (administração indireta), a licitação poderá ser dispensada;
- a escolha do regime de permissão para a execução de um serviço público, dada a precariedade que é sua característica, deverá ser compatível com serviços que exigem alterações frequentes. Deverá ser outorgada sem prazo e por decreto, no qual todas as condições, os direitos e as obrigações dos partícipes estarão estabelecidos, conforme previsto em lei, no edital e na proposta vencedora;
- o regime de concessão, pela sua característica de contrato administrativo, sujeita-se a normas administrativas para sua formalização. Necessita autorização legislativa prévia, que regulará a concessão e definirá a forma do contrato e de sua prorrogação, além das condições de caducidade, fiscalização e rescisão dos direitos dos usuários, da política tarifária e da obrigação de manter o serviço adequado;

- o Consórcio Intermunicipal poderá exercer o serviço de limpeza urbana dos municípios que o constituírem. Se o Consórcio for constituído apenas por intermédio de acordo, o serviço será prestado mediante o uso compartilhado de recursos humanos e materiais dos municípios signatários. Se for constituído como pessoa jurídica (associação civil sem fins lucrativos, empresa pública intermunicipal), capaz de direitos e obrigações, este poderá executar o serviço por meio de seus próprios recursos (funcionários contratados pelo próprio Consórcio, etc.). Em qualquer caso, a participação do município em consórcios depende de prévia autorização legislativa. Deve-se, ainda, averiguar se a Lei Orgânica condiciona essa participação;
- a dimensão de um serviço executado por terceiros dependerá da lei e da forma do contrato.

Portanto, o serviço poderá ser executado desde a varrição até a disposição final conforme o Poder Público licitar.

ATENÇÃO!

A Lei de Licitação nº 8.666, de 8/4/94, e suas alterações (Lei nº 9.076, de 2/2/95, e Lei nº 9.180, de 21/11/95), exige licitação para qualquer um dos regimes.

1.4 Legislação Federal

O município, embora tenha autonomia político-administrativa, necessita, antes de mais nada, observar os princípios e normas constitucionais e a legislação federal, estadual e municipal. Desse modo, os projetos e programas que envolvam o gerenciamento dos resíduos devem estar adequados às normas e às leis.

Por outro lado, será muito difícil encontrar leis que sejam abrangentes o suficiente e contemplem todos os aspectos que a questão merece, pois quando se fala, hoje, em resíduos sólidos devem ser ressaltados os seguintes pontos:

- aspectos econômicos, financeiros e administrativos;

- questões sociais, culturais e participativas da comunidade;
- educação, saúde e saneamento;
- poluição/contaminação do ar, água e solo;
- fiscalização e controle sobre produtos produzidos e comercializados.

Por tais razões, apresenta-se, a seguir, um ementário da legislação federal com a finalidade de orientar os municípios de modo que, ao cumprir com os objetivos do gerenciamento integrado de seu lixo, possam nortear seus atos não somente por bases técnicas, mas também pelos instrumentos legais existentes.

Cabe ressaltar que, além das leis, decretos e regulamentos, existem também as normas técnicas. Estas propõem procedimentos comuns, mas não têm força de lei e, portanto, sua adoção não apresenta obrigatoriedade (ver Anexo A).

DECRETOS FEDERAIS

Um dos decretos federais mais antigos sobre o tema é o Código de Águas, criado em 1934. Ao longo das décadas, várias legislações foram estabelecidas para tratar uma grande variedade de questões, do controle da poluição ao transporte transfronteiriço de resíduos perigosos. O acesso aos decretos, instruções normativas e leis federais sobre o tema estão disponíveis no endereço eletrônico www.presidencia.gov.br/legislacao/apresentacao/.

RESOLUÇÕES FEDERAIS

O Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) é o órgão consultivo e deliberativo do Sistema Nacional do Meio Ambiente (SISNAMA), instituído pela Lei 6.938/81, que dispõe sobre a Política Nacional de Meio Ambiente, regulamentada pelo Decreto 99.274/90.

O CONAMA é composto por Plenário, CIPAM, Grupos Assesores, Câmaras Técnicas e Grupos de Trabalho. O Conselho é presidido pelo Ministro do Meio Ambiente e sua Secretaria Executiva é exercida pelo Secretário-Executivo do MMA. Todas as resoluções deste órgão podem ser acessadas através do endereço eletrônico www.mma.gov/port/conama/estr.cfm.

2 LICENCIAMENTO AMBIENTAL

2.1 Licenciamento Ambiental de Empreendimentos para Gerenciamento de Resíduos Sólidos Municipais

De acordo com a legislação brasileira, todo empreendimento considerado potencialmente poluidor deve realizar o licenciamento ambiental para a definição de sua localização, instalação e operação junto ao órgão competente (federal, estadual ou municipal).

Um marco decisivo para o que atualmente se conhece por gerenciamento ambiental no País decorreu da Lei Federal nº 6.938, de 31/8/81, que dispõe sobre a Política Nacional de Meio Ambiente e, dentre outros aspectos, instituiu a sistemática de Avaliação de Impacto Ambiental para atividades modificadoras ou potencialmente modificadoras da qualidade ambiental e criou o Conselho Nacional de Meio Ambiente – CONAMA.

A Avaliação de Impacto Ambiental (AIA), instrumento da Política Nacional de Meio Ambiente, é formada por um conjunto de procedimentos capazes de assegurar que se faça um exame sistemático dos potenciais impactos ambientais de uma atividade proposta e de suas alternativas bem como assegurar que seus resultados sejam apresentados de forma adequada para a consideração do público em geral e dos responsáveis pela tomada de decisão. Além disso, tais procedimentos devem garantir que, no caso de decisão favorável à implantação do projeto, as medidas determinadas para a proteção ao meio ambiente sejam efetivamente adotadas¹.

Em termos gerais, a AIA tem por objetivos:

- identificar e estimar a importância dos impactos potenciais (positivos e negativos) de uma determinada intervenção (empreendimento, projeto, política, etc.) sobre os meios biológico, físico, socioeconômico e cultural;
- avaliar a conveniência de se realizar o projeto, considerando-se as vantagens e desvantagens técnicas, econômico-sociais e ambientais detectadas;
- no caso de decisão favorável à ação proposta, propor alternativas menos impactantes para a implementação do empreendimento.

Ainda no âmbito da Lei nº 6.938/81, também foi inserida a figura das licenças a serem obtidas ao longo

da existência das atividades modificadoras ou potencialmente modificadoras da qualidade ambiental.

A Resolução CONAMA nº 1, de 23/01/86, retificada de acordo com o DOU, de 7/3/86, e alterada pela Resolução CONAMA nº 11, de 18/3/86, instituiu, em nível nacional, a obrigatoriedade do Estudo de Impacto Ambiental – EIA e do Relatório de Impacto Ambiental – RIMA para o licenciamento ambiental de atividades modificadoras ou potencialmente modificadoras da qualidade ambiental (SÃO PAULO, 1998).

Assim, por se constituir em atividade tipicamente modificadora da qualidade ambiental, os diversos empreendimentos para tratamento e disposição final de resíduos sólidos municipais enquadram-se na exigência da Lei nº 6.938/81, sendo necessária a obtenção das seguintes licenças:

a) licença Prévia – LP

Solicitada ainda na fase de concepção do empreendimento, esta licença geralmente requer apresentação do Estudo de Impacto Ambiental (EIA), o qual deverá conter as alternativas tecnológicas e locacionais consideradas e a análise da viabilidade ambiental do empreendimento. As conclusões do EIA devem ser apresentadas no Relatório de Impacto Ambiental (RIMA). Caso necessário, nesta etapa do licenciamento, o Órgão Estadual de Controle da Poluição Ambiental (OECPA) poderá formular recomendações e exigências ao empreendedor, vinculando-as à concessão da LP.

Conforme o porte do empreendimento (e outras condições específicas da obra), poderá haver dispensa de EIA/RIMA a critério do OECPA. Por outro lado, a LP deverá ser também solicitada quando houver necessidade de expansão da área do empreendimento (MINAS GERAIS, 1995) ou de mudanças significativas nos processos/procedimentos utilizados previamente.

b) Licença de Implantação – LI

Uma vez demonstrada a viabilidade ambiental do empreendimento (o que ocorre com obtenção da LP), a LI permitirá ao empreendedor iniciar a implantação das obras. Para a emissão dessa licença, deverá ser apresentada documentação técnica e demais autorizações que comprovem o cumprimento de todas as exigências estabelecidas na fase de LP (MARGUES et al., 1999).

c) Licença de Operação – LO ou Licença de Funcionamento – LF

A LO permitirá ao empreendedor dar início a suas atividades normais. Assim como nas anteriores, requer apresentação de documentação técnica que comprove o cumprimento das exigências e condicionantes estabelecidas nas fases anteriores (LP e LI), tais como medidas compensatórias, assinatura de termos de compromisso, reposição vegetal, entre outras².

Outro aspecto a ser destacado refere-se à Resolução CONAMA nº 237/97, que estabelece que os empreendimentos cuja abrangência de impactos ambientais negativos seja local (ou seja, aqueles cujos impactos ambientais negativos estejam limitados ao território de apenas um município) devem ser licenciados no âmbito municipal².

Especificamente no Estado de São Paulo, a normatização de procedimentos para o licenciamento ambiental foi estabelecida pela Resolução SMA nº 42, de 29/12/94, e adicionou dois instrumentos preliminares ao EIA/RIMA: o Relatório Ambiental Preliminar – RAP e o Termo de Referência – TR (Figura 1).

O RAP é um documento inicial para o Licenciamento Ambiental e sua função é instrumentar a decisão de: (a) exigência ou dispensa de EIA/RIMA para a obtenção de Licença Prévia; ou (b) reprovar o empreendimento (por inviabilidade técnica ou ambiental). Tal documento tem estrutura semelhante àquela do EIA, porém, seu conteúdo é menos abrangente.

O Plano de Trabalho, elaborado pelo empreendedor, é um documento que apresenta ao OECPA a forma a ser utilizada para a elaboração do EIA/RIMA de um dado empreendimento. Considerando-se que em toda avaliação de impacto ambiental há questões merecedoras de maior atenção, estas deverão ser objetivamente apontadas no Plano de Trabalho, indicando-se os critérios e as atividades a serem utilizados para sua avaliação. Informações sobre a abordagem e o grau de detalhamento dos tópicos também são essenciais em aspectos como: (a) áreas de influência a adotar (meios físico, biótico e socioeconômico); (b) quais dados serão qualitativos e/ou quantitativos; (c) quais levantamentos serão diretos e/ou indiretos; (d) quais as escalas de apresentação dos itens do estudo; (e) quais os itens da monitoração preliminar e os locais, frequência e metodologias de amostragem, preservação e análi-

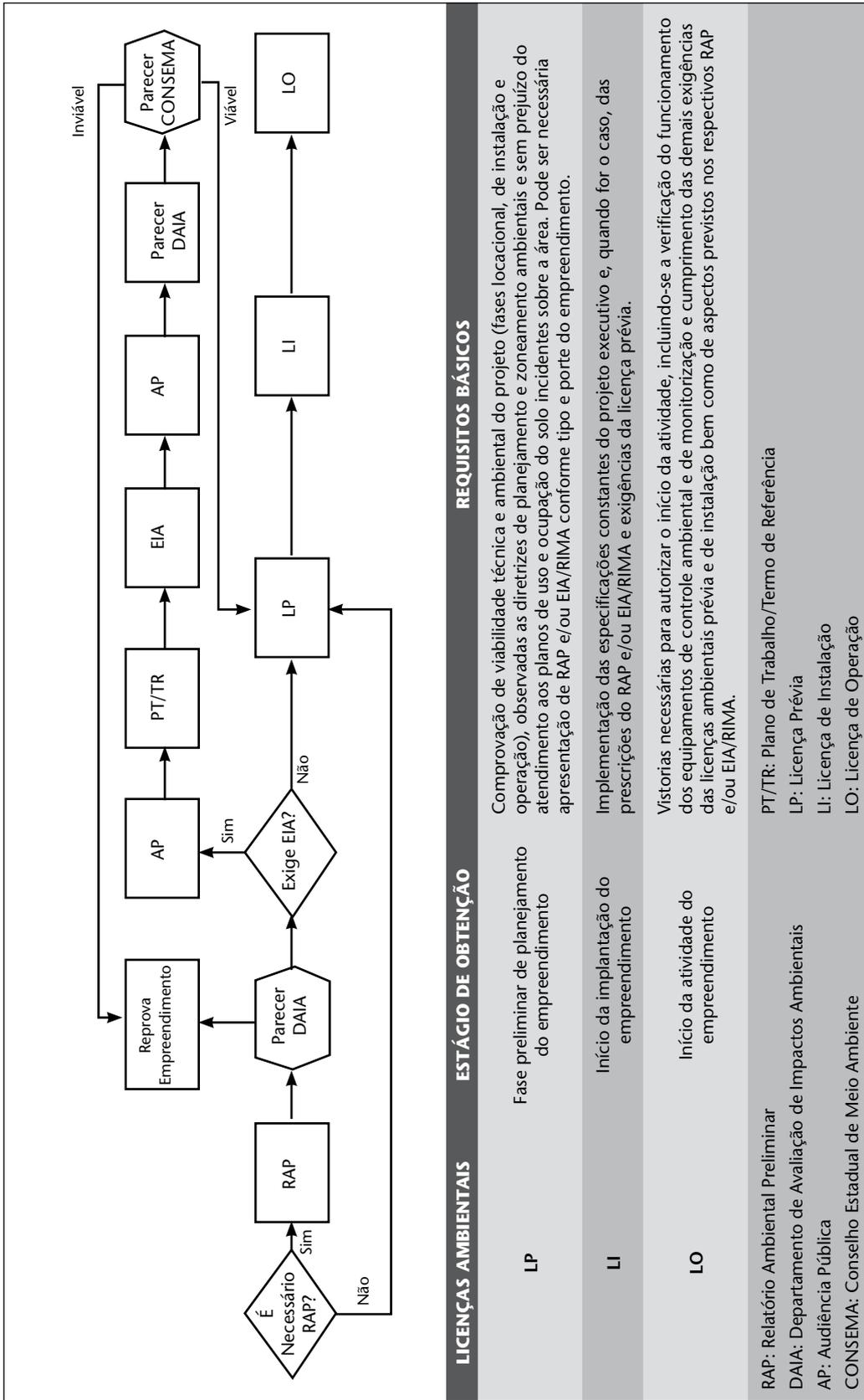
ses; (f) descrição da metodologia para identificação, previsão de magnitude e avaliação de importância dos vários impactos ambientais negativos; (g) previsão inicial dos impactos a serem descritos (por etapa do empreendimento/atividades); (h) autorizações e certidões necessárias; (i) equipe mínima para os trabalhos; (j) itens complementares a serem apresentados (tabelas de conformidade, quadro-síntese, mapas, perfis, entre outros); (k) prazos previstos.

Após as análises, discussões e complementações, o OECPA transformará o Plano de Trabalho no Termo de Referência para a elaboração do EIA/RIMA.

Quanto ao EIA, este deverá contemplar os seguintes aspectos:

- referir-se a um projeto específico a ser implantado em um determinado meio ou área;
- ser anterior a qualquer intervenção no meio ambiente decorrente deste projeto. Deste modo, o EIA constitui-se tanto em um instrumento de planejamento como em subsídio a tomada de decisão política sobre a implantação do empreendimento a que se refere;
- ser elaborado por equipe interdisciplinar;
- contemplar o meio ambiente nos seus seguimentos básicos (meio físico, biológico, socioeconômico e cultural);
- abranger aspectos relativos a: (a) caracterização da atividade modificadora do meio ambiente proposta (empreendimento, projeto, programa, plano ou política); (b) diagnóstico ambiental da área de influência do projeto; (c) análise ou Avaliação de Impacto Ambiental – AIA decorrentes da implantação, operação e desativação do projeto; (d) medidas mitigadoras; (e) programas de monitorização dos impactos.
- ter suas conclusões apresentadas no RIMA (documento técnico de caráter público que, em linguagem objetiva e acessível ao público geral, reúne as conclusões do EIA correspondente e o formaliza ante o poder público, representado pelo OECPA).

Como comentário adicional à Figura 1, destaca-se que as audiências públicas são ocasiões de exposição do empreendimento à população em geral. Além de prestar-se à divulgação e esclarecimentos, tais reuniões servem, ainda, para a coleta de sugestões e críticas para aperfeiçoamento do projeto.



LICENÇAS AMBIENTAIS

ESTÁGIO DE OBTENÇÃO

REQUISITOS BÁSICOS

LP	Fase preliminar de planejamento do empreendimento	Comprovação de viabilidade técnica e ambiental do projeto (fases locacional, de instalação e operação), observadas as diretrizes de planejamento e zoneamento ambientais e sem prejuízo do atendimento aos planos de uso e ocupação do solo incidentes sobre a área. Pode ser necessária apresentação de RAP e/ou EIA/RIMA conforme tipo e porte do empreendimento.
LI	Início da implantação do empreendimento	Implementação das especificações constantes do projeto executivo e, quando for o caso, das prescrições do RAP e/ou EIA/RIMA e exigências da licença prévia.
LO	Início da atividade do empreendimento	Vistorias necessárias para autorizar o início da atividade, incluindo-se a verificação do funcionamento dos equipamentos de controle ambiental e de monitorização e cumprimento das demais exigências das licenças ambientais prévia e de instalação bem como de aspectos previstos nos respectivos RAP e/ou EIA/RIMA.
RAP: Relatório Ambiental Preliminar DAIA: Departamento de Avaliação de Impactos Ambientais AP: Audiência Pública CONSEMA: Conselho Estadual de Meio Ambiente		

Figura 1 – Fluxograma de atividades para avaliação de impacto ambiental no Estado de São Paulo

Deste modo, fica evidente que a avaliação de impacto ambiental é um instrumento de planejamento que permite associar precauções ambientais às estratégias do desenvolvimento socioeconômico, podendo minimizar os danos ambientais de um determinado projeto, os quais poderiam reduzir (e às vezes anular) os benefícios inicialmente previstos.

As entidades estaduais com atribuições sobre os processos de licenciamento em nível federal são apresentadas no Anexo B.

2.2 Principais Impactos Ambientais Negativos a Serem Abordados em Estudos Ambientais para Empreendimentos de Gerenciamento do Lixo Municipal

Complementando as informações anteriores, neste item serão discutidos, de forma breve, os impactos negativos potenciais que podem ser esperados em decorrência de empreendimentos para o gerenciamento de resíduos sólidos municipais.

Na exposição a seguir foi adotada uma simplificação, discutindo-se a implantação de um empreendimento hipotético que reúna algumas tarefas necessárias ao setor, sendo aqui denominado de Central de Tratamento de Resíduos Sólidos Municipais – CTRSM.

A CTRSM agruparia e coordenaria as funções de:

(a) tratamento de resíduos (triagem, compostagem, incineração); (b) tratamento de efluentes; (c) gerenciamento de recicláveis do sistema. Para cumprir tais tarefas, a CTRSM estaria fisicamente instalada em uma unidade composta pelas seguintes instalações:

- a) uma unidade de administração central e controle (escritório, guarita, balança);
- b) uma unidade para garagem de veículos de transporte e demais equipamentos móveis;
- c) uma unidade para oficina de equipamentos (fixos e móveis) e veículos da CTRSM;
- d) uma unidade de incineração de resíduos de serviços de saúde;
- e) uma unidade de aterro de resíduos sólidos municipais;
- f) uma unidade de tratamento de afluentes gerados na CTRSM;

- g) uma unidade dedicada aos funcionários da CTRSM (banheiros, vestiários, refeitório, lazer, etc.);
- h) uma unidade de almoxarifado geral (peças de reposição, material de consumo, etc.).

Os potenciais impactos ambientais são decorrentes dos processos tecnológicos predominantes em cada etapa do empreendimento CTRSM. O conjunto apresentado a seguir, no entanto, deve ser encarado apenas como ilustrativo, pois sua definição não esteve vinculada a um meio ambiente específico.

Tampouco considerou-se, a fundo, interferência de aspectos específicos de dimensionamento do projeto. Deste modo, os impactos relacionados podem estar superestimados, subestimados, ausentes ou não previstos quando se avalia um determinado caso real.

• Principais Impactos Potenciais na Fase de Implantação da CTRSM

- geração de gases, material particulado e ruído (a partir de equipamentos);
- alteração do escoamento superficial;
- erosão pela água;
- assoreamento de corpo d'água;
- mortes/incômodos à fauna;
- remoção/degradação de cobertura vegetal;
- poluição do solo com óleos e graxas;
- incômodos devidos à desapropriação de imóvel;
- poluição de solo e águas pela disposição de águas residuárias;
- alteração da percepção da paisagem;
- intensificação do trânsito em vias de acesso;
- degradação de áreas de empréstimo de solo/descarte de solo excedente;
- geração de resíduos sólidos (domiciliares: nas edificações diversas; e não inertes e/ou perigosos: na estação de tratamento de efluentes e nas oficinas da CTRSM).

• Principais Impactos Potenciais na Fase de Operação

- saída de material esvoaçante (a partir de veículos transportadores de lixo e da frente de

- operação do aterro, etc.);
- geração de gases, material particulado e ruído (pelos equipamentos fixos e móveis);
 - intensificação do trânsito em vias de acesso;
 - remoção/degradação de cobertura vegetal (área de disposição, área de empréstimo/descarte de solo);
 - poluição do solo com óleos e graxas;
 - geração de gases e odores (decomposição do lixo, sistema de tratamento de efluentes);
 - espalhamento de lixo ao longo das vias de acesso à CTRSM (perdas e lançamentos clandestinos);
 - alteração do escoamento superficial;
 - proliferação de vetores;
 - assoreamento de corpo d'água;
 - mortes/incômodos à fauna;
 - alteração da percepção da paisagem;
 - depreciação de imóveis lindeiros;
 - erosão pela água;
 - poluição do solo e das águas subterrâneas (águas residuárias);
 - poluição do solo, águas subterrâneas e composto produzido, devido à recepção de resíduos incompatíveis com a CTRSM;
 - degradação de área de empréstimo/descarte de solo excedente;
 - geração de resíduos (inertes: na UTC; domiciliares: nas edificações diversas; e não inertes e/ou perigosos: na estação de tratamento de efluentes, nas oficinas e no sistema de incineração na CTRSM).

• **Impactos Potenciais na Fase de Desativação**

- mortes/incômodos à fauna;
- geração de gases, material particulado e ruído (pelos equipamentos);
- geração de gases e odores (pelo aterro e sistema de tratamento de efluentes);
- poluição do solo e das águas subterrâneas (percolados);
- deterioração das estruturas do aterro;
- erosão pela água;
- assoreamento de corpo d'água;
- poluição do solo e águas subterrâneas (águas residuárias);
- geração de resíduos (não inertes e/ou perigosos: na estação de tratamento de efluentes da CTRSM);
- uso futuro incompatível.

Como pode ser observado, embora não haja qualquer pretensão de se esgotar o tema, o conjunto de impactos listados é bastante amplo e alguns deles são recorrentes ao longo da existência do empreendimento. É necessário avaliá-los detalhadamente e demonstrar que o projeto proposto reúne condições técnicas para eliminá-los ou circunscrevê-los a limites ambientalmente aceitáveis, tendo em conta o ambiente em que se insere (meios físico, biótico e socioeconômico). Daí decorrerão eventuais medidas mitigadoras e compensatórias ao projeto original, bem como monitorização de impactos remanescentes ao longo das fases de instalação, operação e desativação do empreendimento. Esses aspectos são a essência dos estudos ambientais a serem apresentados no processo de licenciamento ambiental.

BIBLIOGRAFIA

1. IPT. 1996. Auditoria ambiental: uma proposta para empreendimentos mineiros. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. 118 p. (IPT – Publicação, 2451).
2. MARQUES, M. A. M.; CLÁUDIO, C. F. B.; OPEDEBEECK, L. C. 1999. Licenciamento ambiental de túneis na Secretaria de Estado do Meio Ambiente (SP). In: SIMPÓSIO SOBRE TÚNEIS URBANOS – TURB 99, 3, 1999, São Paulo. Anais... São Paulo: ABGE/CBT/IE. p. 41-48.
3. BURSZTYN, M. A. A. 1994. Gestão ambiental: instrumentos e práticas. Brasília: IBAMA. 165 p.
4. “Política Nacional de Resíduos Sólidos - Agora é lei”. Jornalista responsável: Sérgio Adeodato. CEMPRE, 2011.
5. “Política Nacional de Resíduos Sólidos - A lei na prática”. Jornalista responsável: Sérgio Adeodato. CEMPRE, 2011.

ANEXO A

NORMAS TÉCNICAS

Alguns capítulos deste Manual mencionam normas técnicas específicas aos assuntos tratados no decorrer de cada texto. Deste modo, foi incluído este Anexo com a finalidade de esclarecer o significado de *norma técnica*.

De acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT, NBR 6822 – Preparo e Apresentação de Normas Brasileiras, a definição para norma é: “um documento elaborado segundo procedimentos e conceitos emanados do Sistema Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial, conforme a Lei nº 5.966, de 11 de dezembro de 1973, e demais documentos legais desta decorrentes. De acordo com sua classificação, as normas brasileiras são resultantes de um processo de consenso nos diferentes fóruns do Sistema, cujo universo abrange o Governo, o setor produtivo, o comércio e os consumidores. As normas brasileiras, em suas prescrições, visam obter:

- a) defesa dos interesses nacionais;
- b) racionalização na fabricação ou produção e na troca de bens e serviços através de operações sistemáticas e repetitivas;
- c) proteção dos interesses dos consumidores;
- d) segurança de pessoas e bens;
- e) uniformidade dos meios de expressão e comunicação.”

Deve-se considerar a importância das normas técnicas pois elas apresentam uma linguagem comum, reduzem a variedade de procedimentos, possibilitam a repetição de resultados e melhoram a qualidade de serviços e produtos. No entanto, é importante lembrar que **normas técnicas não são leis**; assim, segui-las é uma opção.

O que caracteriza uma norma técnica é seu tipo e alcance.

TIPOS DE NORMAS TÉCNICAS

Segundo a NBR 6822, as normas técnicas podem ser de:

Classificação

Se destina a ordenar, designar, distribuir, e/ou subdividir conceitos, materiais ou objetos segundo uma determinação sistemática.

Especificação

Se destina a fixar condições exigíveis para aceitação e/ou recebimento de matérias-primas, produtos semiacabados e produtos acabados.

Métodos de Ensaio

Se destina a prescrever a maneira de verificar ou determinar características, condições ou requisitos exigidos.

Padronização

Se destina a restringir a variedade pelo estabelecimento de um conjunto metódico e preciso de condições a serem satisfeitas com o objetivo de uniformizar as características geométricas, físicas ou outras, de elementos de construção, materiais, aparelhos, produtos industriais, desenhos e projetos.

Procedimento

Se destina a fixar condições:

- a) para a execução de cálculos, projetos, obras, serviços e instalações;
- b) para o emprego de materiais e produtos industriais;
- c) para certos aspectos das transações comerciais (por exemplo: reajustamento de preços);
- d) para a elaboração de documentos em geral, inclusive desenhos;
- e) para segurança na execução ou na utilização de uma obra, equipamento ou instalação de acordo com o respectivo projeto.

Simbologia

Se destina a estabelecer convenções gráficas e/ou literais para conceitos, grandezas, sistemas ou partes de sistemas.

Terminologia

Se destina a definir, relacionar e/ou dar a equivalência em diversas línguas de termos técnicos empregados em um determinado setor de atividade, visando o estabelecimento de uma linguagem uniforme.

ALCANCE DE NORMAS TÉCNICAS

O alcance de uma norma é a abrangência de sua aceitação. Deste modo, tem-se, em ordem decrescente de alcance:

Normas Internacionais

São aquelas elaboradas por entidades internacionais, apresentando, assim, aceitação também internacional. Como exemplo de entidades deste tipo, tem-se a ISO – *International Organization for Standardization*.

Normas Regionais

São aquelas elaboradas por entidades que congregam países de uma região. Exemplos de entidade deste tipo é a CEN – Comunidade Européia e o COPANT – Comitê Pan-Americano de Normas Técnicas.

Normas Sub-regionais

São aquelas elaboradas por entidades que congregam alguns países de uma região. Como exemplo, tem-se as normas elaboradas pelo CMN – Comitê Mercosul de Normalização, que congrega os seguintes países da América do Sul: Brasil, Argentina, Uruguai e Paraguai.

Normas Nacionais

São aquelas elaboradas por uma entidade reconhecida pela nação como sendo aquela que elabora normas técnicas de âmbito nacional. No Brasil, tem-se a ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas.

Normas de Grupos

São aquelas elaboradas por grupos setoriais, como, por exemplo, normas da ABM – Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais, normas da ABTCP – Associação Brasileira Técnica de Celulose Papel, etc.

Normas Institucionais

São aquelas elaboradas por um instituto, empresa ou entidade equivalente, como, por exemplo, normas da Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental – CETESB (Estado de São Paulo).

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT

A ABNT não é uma entidade governamental e, sim, uma associação, mas suas normas recebem a denominação de Normas Brasileiras Registradas (NBR). Através de suas comissões de estudo, a ABNT também pode adotar uma norma da ISO e faz a sua tradução literal, tornando, assim, norma NBR-ISO.

A ABNT é o órgão responsável pela normalização técnica no país, fornecendo a base necessária ao desenvolvimento tecnológico brasileiro. A instituição é a única e exclusiva representante no Brasil das seguintes entidades internacionais: ISO (International Organization for Standardization), WEC (International Electrotechnical Commission); e das entidades de normalização regional COPANT (Comissão Panamericana de Normas Técnicas) e a AMN (Associação Mercosul de Normalização). As normas podem ser consultados e adquiridas com a entidade através do endereço eletrônico www.abnt.org.br.

ANEXO B

RELAÇÃO DE ENTIDADES E ASSOCIAÇÕES

Este anexo contém uma relação de entidades e associações que podem ser de utilidade para aqueles interessados no gerenciamento do lixo.

Esta relação é iniciada com informações sobre as duas instituições responsáveis pela elaboração deste Manual: o **Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S.A. – IPT** e o **Compromisso Empresarial para Reciclagem – CEMPRE**.

Logo a seguir são relacionadas as entidades *governamentais* nos âmbitos federal e estadual, e as *não governamentais*, ligadas aos assuntos tratados nesta publicação.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO S.A. – IPT

O IPT é uma entidade centenária, que iniciou suas atividades em 24 de junho de 1899 como um laboratório de ensino agregado à Escola Politécnica de São Paulo e denominado Gabinete de Resistência dos Materiais. Este Gabinete, que tinha como destino uma missão muito mais ampla, passou, em 1926, a ser conhecido como Laboratório de Ensaio de Materiais – LEM, recebendo, em 1934, seu nome definitivo – Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT.

Ao longo de sua existência, o IPT tem contribuído de forma importante para o desenvolvimento tecnológico do País, podendo ser facilmente destacados exemplos relacionados com a produção industrial, obras de infraestrutura, habitação, questões energéticas, ambientais e de uso e ocupação do solo.

Atualmente, o IPT é formado por oito Divisões Técnicas (Economia e Engenharia de Sistemas, Engenharia Civil, Geologia, Mecânica e Eletricidade, Metalurgia, Produtos Florestais, Química, Tecnologia de Transportes) e cinco Centros (Tecnológico de Couros e Calçados, Informática e Telecomunicações, Aproximações Técnicas e Serviços, Informação Tecnológica, Aperfeiçoamento Tecnológico), e possui um total de 76 laboratórios devidamente equipados para servir em suas áreas específicas. É um órgão do Governo do Estado de São Paulo, vinculado à Secretaria da Ciência, Tecnologia e Desenvolvimento Econômico.

Os interessados em obter informações sobre o IPT ou suas diversas áreas de atendimento devem se dirigir ao seguinte endereço:

Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S.A. – IPT

Av. Prof. Almeida Prado, 532, Cidade Universitária “Armando de Salles Oliveira”
05508-901 – São Paulo-SP

SAC – Serviço de Atendimento ao Cliente
Telefones:

São Paulo: (11) 3767-4456/4091/4744

Franca: (16) 3720-1033

São José dos Campos: (12) 3905-3354

E-mail: sac@ipt.br

ipt@ipt.br

COMPROMISSO EMPRESARIAL PARA RECICLAGEM – CEMPRE

O CEMPRE é uma associação sem fins lucrativos que se dedica à promoção da reciclagem inserida no conceito de gerenciamento integrado do lixo. Fundado em 1992, o CEMPRE é mantido por empresas privadas de diversos setores que têm compromisso direto com o correto gerenciamento de resíduos sólidos no Brasil.

Os associados do CEMPRE são:

- ADM do Brasil Ltda.
- Ajinomoto do Brasil Ind. e Com. Ltda.
- Ambev - Cia. de Bebidas das Américas
- Arcor do Brasil Ltda.
- Braskem S.A.
- BRF - Brasil Foods S/A
- Cargill Agrícola S.A.
- Ceras Johnson Ltda.
- Coca Cola Brasil
- Colgate-Palmolive Industrial Ltda.
- Companhia Brasileira de Distribuição – Grupo Pão de Açúcar
- Dan Vigor Ind. e Com. de Laticínios Ltda
- Danone Ltda.
- Femsa Brasil
- Heineken - Cervejarias Kaiser Brasil S.A.
- Hershey do Brasil Ltda
- HP Brasil Ind. e Com. de Equip. Eletrônicos Ltda.

- Klabin S.A.
- MacDonald's - Arcos Dourados Com. de Alimentos Ltda.
- Mondelez Brasil
- Nestlé Brasil Ltda.
- Nestlé Waters Brasil - Bebidas e Alimentos Ltda
- Owens-Illinois do Brasil Ind. e Com. Ltda.
- Pepsico do Brasil Ltda.
- Saint-Goban Vidros S.A.
- SIG Combibloc do Brasil Ltda.
- Tetra Pak Ltda.
- Unilever Brasil Ltda.

O CEMPRE visa conscientizar a sociedade sobre a questão do lixo sólido, enfatizando a importância da coleta, reciclagem e disposição final adequada. Os trabalhos de pesquisa e informação são dirigidos, principalmente, para os formadores de opinião, tais como prefeitos, diretores de empresas, acadêmicos, imprensa, organizações não governamentais (ONGs), associações de moradores, cooperativas de trabalho, etc.

O CEMPRE edita publicações sobre coleta seletiva, oportunidades de negócios com reciclagem e fichas técnicas sobre diversos materiais recicláveis, além de

publicar a cada dois meses o informativo CEMPRE- Informa com variadas informações sobre o tema.

Visando auxiliar a formação de cooperativas de catadores, o CEMPRE distribui o kit didático "Cooperar Reciclando – Reciclar Cooperando" para prefeituras e entidades de cunho religioso e social, entre outras que desenvolvam trabalhos diretamente relacionados aos catadores.

O CEMPRE coloca à disposição do público um rico banco de dados com informações sobre os aspectos técnicos, econômicos, sociais e ambientais do gerenciamento do lixo sólido.

Os interessados em obter informações sobre o CEMPRE devem se dirigir ao seguinte endereço:

Compromisso Empresarial para Reciclagem – CEMPRE

Rua Urussuí, 300, cj. 31, Itaim Bibi
04542-050 – São Paulo-SP
Telefones: +55 11 3889-7806
+55 11 3889-8564

E-mail: cempre@cempre.org.br
www.cempre.org.br

ENTIDADES GOVERNAMENTAIS

FEDERAL

Ministério do Meio Ambiente

Esplanada dos Ministérios, bloco B
Brasília-DF CEP 70068-900
www.mma.gov.br

Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (Ibama)

SCEN Trecho 2, Edifício Sede
Cx. Postal nº 09566
Brasília-DF CEP 70818-900
Telefone: (61) 3316-1212
www.ibama.gov.br

Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio)

EQSW 103/104, Bloco "C",
Complexo Administrativo, Setor Sudoeste
Brasília - DF CEP 70670-350
Telefone: (61) 3341-9101
www.icmbio.gov.br

Fundo Nacional do Meio Ambiente – Fnma

SEPN 505, Bloco B Edifício Marie Prendi Cruz
3º Andar - Asa Norte Brasília – DF
CEP 70730-542
Fone: (61) 2028-2160

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE

0800-721-8181
www.ibge.gov.br

ESTADUAL

REGIÃO NORTE

Acre

Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Naturais (Sema)

Telefone: (68) 3224-3990 / 3224-8786
www.sema.ac.gov.br

Amapá

Secretaria de Estado do Meio Ambiente (Sema)

Telefone: (96) 4009-9450
www.sema.ap.gov.br

Amazonas

Instituto de Proteção Ambiental do Amazonas (Ipaam)

Telefone: (92) 2123-6700
www.ipaam.br

Pará

Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Sustentabilidade (Semas)

Telefone: (91) 3184-3330
www.semas.pa.gov.br

Rondônia

Secretaria de Estado do Desenvolvimento Ambiental (Sedam)

Telefone: (69) 3216-1047
www.rondonia.ro.gov.br/sedam

Roraima

Fundação Estadual do Meio Ambiente e Recursos Hídricos (Femarh)

Telefone: (95) 2121-9152 / 2121-9191
www.femarh.rr.gov.br

Tocantins

Instituto Natureza do Estado do Tocantins (Naturatins)

Telefone: (63) 3218-2600
www.naturatins.to.gov.br

REGIÃO NORDESTE

Alagoas

Instituto do Meio Ambiente (Ima)

Telefone: (82) 3315-1732/1737
www.ima.al.gov.br

Ceará

Superintendência Estadual do Meio Ambiente (Semace)

Telefone: (85) 3101-5580
www.semace.ce.gov.br

Bahia

Instituto do Meio Ambiente e Recursos Hídricos (Inema)

Telefone: (71) 3118-4267
www.ima.ba.gov.br

Sistema Estadual de Informações Ambientais e Recursos Hídricos

Telefone: 0800 071 1400
www.seia.ba.gov.br

Maranhão

Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Naturais

Telefone: (98) 3194-8900
www.sema.ma.gov.br

Paraíba

Superintendência do Meio Ambiente (Sudema)

Telefone: (84) 3218-5606/5586
www.sudema.pb.gov.br

Pernambuco

Agência Estadual de Meio Ambiente (CPRH)

Telefone: (81) 3182-8800
www.cprh.pe.gov.br

Piauí

Secretaria Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (Semar)

Telefone: (86) 3216-2038
www.semar.pi.gov.br

Rio Grande do Norte

Instituto de Desenvolvimento Sustentável e Meio Ambiente (Idema)

Telefone: (84) 3232-2118/2111
www.idema.rn.gov.br

Sergipe

Administração Estadual do Meio Ambiente (Adema)

Telefone: (79) 3198-7150
www.adema.se.gov.br

REGIÃO CENTRO-OESTE

Distrito Federal

Instituto Brasília Ambiental (Ibram)

Telefone: (61) 3214-5606
www.ibram.df.gov.br

Goiás

Secretaria de Meio Ambiente, Recursos Hídricos, infraestrutura, cidades e assuntos metropolitanos (Secima)

Telefone: (62) 3201-5150
www.secima.go.gov.br

Mato Grosso

Secretaria de Estado do Meio Ambiente (Sema)

Telefone: (65) 3613-7200
www.sema.mt.gov.br

Mato Grosso do Sul

Instituto de Meio Ambiente de Mato Grosso do Sul (Imasul)

Telefone: (67) 3318-5600 / 3318-6000
www.imasul.ms.gov.br

Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Econômico (Semade)

Telefone: (67) 3318-4100
www.semade.ms.gov.br

REGIÃO SUDESTE

Espírito Santo

Secretaria de Estado de Meio Ambiente e de Recursos Hídricos (Seama)

Telefone: (27) 3636-2600/2555
www.seama.es.gov.br

Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (Iema)

Telefone: (27) 3636-2500
www.iema.es.gov.br

Minas Gerais

Fundação Estadual do Meio Ambiente (Feam)

Telefone: (31) 3915-1000/1101
www.feam.br

Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável (Semad)

Telefone: (31) 3915-1000
www.meioambiente.mg.gov.br

Rio de Janeiro

Instituto Estadual do Ambiente (Inea)

Telefone: (21) 2332-4604
www.inea.rj.gov.br

Secretaria de Estado do Ambiente (SEA)

Telefone: (21) 2332-5609
www.rj.gov.br/web/sea

São Paulo

Secretaria do Meio Ambiente (Sema)

Telefone: (11) 3133-3000 / Disque Ambiente 0800 11 35 60
www.ambiente.sp.gov.br

Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (Cetesb)

Telefone: (11) 3133-3000 /
Disque Ambiente 0800 11 35 60
www.cetesb.sp.gov.br

REGIÃO SUL

Paraná

Instituto Ambiental do Paraná (IAP)

Telefone: (41) 3213-3700
www.iap.pr.gov.br

Secretaria do Meio Ambiente e Recursos Hídricos (Sema)

Telefone: (41) 3304-7700
www.meioambiente.pr.gov.br

Rio Grande do Sul

**Fundação Estadual de Proteção Ambiental
Henrique Luis Roessler (Fepam)**

Telefone: (51) 3288-9444/9544
www.fepam.rs.gov.br

**Secretaria do Ambiente e Desenvolvimento
Sustentável do Rio Grande do Sul**

Telefone: (51) 3288-8100
www.sema.rs.gov.br

Santa Catarina

Fundação do Meio Ambiente (Fatma)

Telefone: (48) 3665-4190
www.fatma.sc.gov.br

ENTIDADES NÃO GOVERNAMENTAIS

Associação Brasileira do Alumínio – ABAL

(11) 5904-6450
www.abal.org.br

Associação Brasileira dos Fabricantes de Latas de Alta Reciclabilidade - ABRALATAS

(61) 3327-2142
www.abralatas.org.br

Associação Brasileira de Embalagens – ABRE

(11) 3060-5510
www.abre.org.br

Associação Brasileira de Embalagens de Aço – ABEAÇO

(11) 3842-9512
www.abeaco.org.br

Associação Brasileira para Reciclagem de Resíduos da Construção Civil e Demolição – ABRECON

(11) 3862-7118
www.abrecon.org.br

Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais – ABRELPE

(11) 3297-5898
www.abrelpe.org.br

Associação Brasileira de Empresas de Tratamento de Resíduos – ABETRE

(11) 5081-5351
www.abetre.org.br

Associação Brasileira de Engenharia Química – ABEQ

(11) 3107-8747
www.abeq.org.br

Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental – ABES

(11) 3814-1872
www.abes-sp.org.br

Associação Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental – ABGE

(11) 3767-4361
www.abge.org.br

Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica – ABINEE

(11) 2175-0000
www.abinee.org.br

Associação Brasileira da Indústria Química – ABIQUIM

(11) 2148-4700
www.abiquim.org.br

Associação Brasileira da Indústria do Plástico – ABIPLAST

(11) 3060-9688
www.abiplast.org.br

Associação Brasileira da Indústria do PET – ABIPET

(11) 3078-1688
www.abipet.org.br

Associação Brasileira de Resíduos Sólidos e Limpeza Pública – ABLP

(11) 3266-2484
www.ablp.org.br

Associação Brasileira de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica – ABMS

(11) 3833-0023
www.abms.com.br

Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT

(11) 3017-3630 / (21) 3974-2310 /
(31) 3226-4701
www.abnt.org.br

Associação Brasileira da Indústria de Máquinas e Equipamentos – ABIMAQ

(11) 5582-6311
www.abimaq.org.br

Associação Brasileira da Indústria de Higiene Pessoal, Perfumaria e Cosméticos – ABIHPEC

(11) 3372-9899
www.abihpec.org.br

Associação Brasileira do Papelão Ondulado – ABPO

(11) 3538-2276
www.abpo.org.br

Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel – ABTCP

(11) 3874-2700
www.abtcp.org.br

Associação Nacional dos Aparistas de Papel – ANAP

(11) 3831-0044 / 3641-1674
www.anap.org.br

Associação Nacional da Indústria de Pneumáticos – ANIP

(11) 5503-5400
www.anip.com.br

Associação Nacional das Empresas de Reciclagem de Pneus e Artefatos de Borrachas – AREBOP

(11) 4979-6926
www.arebop.org.br

Associação Técnica Brasileira das Indústrias Automáticas de Vidro – ABIVIDRO

(11) 3255-3033
www.abividro.org.br

Indústria Brasileira de Árvores – IBÁ

(61) 3224-0108
www.iba.org

Instituto Sócio-Ambiental dos Plásticos - PLASTIVIDA

(11) 2148-4756
www.plastivida.org.br

Instituto do PVC

(11) 2148-4735
www.institutodopvc.org

Instituto Nacional de Processamento de Embalagens Vazias – INPEV (agrotóxicos)

(11) 3069-4400
www.inpev.org.br

Movimento Nacional dos Catadores de Materiais Recicláveis – MNCR

(11) 3399-3475 / 3341-0964
www.mncr.org.br

Organização Das Cooperativas Brasileiras – OCB

(61) 3217-2100/1504
www.somoscooperativismo.coop.br

Sindicato Nacional da Indústria do Refrefino de Óleos Minerais – SINDIRREFINO

(11) 3285-5498
www.sindirrefino.org.br

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

CAPÍTULO I – GERENCIAMENTO INTEGRADO DO LIXO MUNICIPAL

Figuras

- Figura 1 – Geração de resíduos urbanos
 Figura 2 – As mudanças na composição do lixo mundial
 Figura 3 – Ranking global da reciclagem
 Figura 4 – Incineração do lixo municipal
 Figura 5 – Percentual do número de municípios, por tipo de destino final, segundo seus estratos populacionais
 Figura 6 – Distribuição regional da população mundial
 Figura 7 – Crescimento da população urbana no Brasil 1960-2010 (em proporções)
 Figura 8 – Regiões metropolitanas e população
 Figura 9 – Bacias hidrográficas do Brasil
 Figura 10 – Roteiro para estabelecimento do Plano Diretor de Gerenciamento Integrado do Lixo Municipal
 Figura 11 – Quadro de Gerenciamento Integrado do Lixo Municipal

Quadro

- Quadro 1 – Situação do lixo

Tabelas

- Tabela 1 – Índice percentual (%) de coleta de domicílios com coleta de lixo no Brasil
 Tabela 2 – Distritos-sede com serviço de coleta de lixo residencial, por frequência de atendimento, segundo as Grandes Regiões
 Tabela 3 – Principais regiões metropolitanas e respectivos números de municípios

CAPÍTULO II – ORIGEM E COMPOSIÇÃO DO LIXO

Figuras

- Figura 1 – Amostragem para análise da composição química e parâmetros físico-químicos

- Figura 2 – Amostragem para análise da composição física
 Figura 3 – Composição do Lixo Domiciliar no Brasil (% peso)
 Figura 4 – Composição da coleta seletiva

Quadros

- Quadro 1 – Classificação dos resíduos sólidos quanto à periculosidade
 Quadro 2 – Responsabilidade pelo gerenciamento do lixo
 Quadro 3 – Informações necessárias ao planejamento do gerenciamento do lixo municipal
 Quadro 4 – Caracterização gravimétrica dos resíduos sólidos urbanos (em mil toneladas)
 Quadro 5 – Planilha para determinação da composição física do lixo municipal
 Quadro 6 – Componentes putrescíveis, recicláveis e combustíveis do lixo municipal
 Quadro 7 – Resíduos domésticos potencialmente perigosos

Tabelas

- Tabela 1 – Composição dos Resíduos Sólidos (em porcentagem)
 Tabela 2 – Dados de Geração de Resíduos Sólidos Municipais por Regiões do Globo
 Tabela 3 – Disposição Final (milhões de toneladas/ano)

CAPÍTULO III – ACONDICIONAMENTO E COLETA DO LIXO

Figuras

- Figura 1 – Tipos de cestos estacionários
 Figura 2 – Recipiente móvel basculante
 Figura 3 – Exemplos de coletores rígidos para grandes volumes
 Figura 4a – Caminhão basculante utilizado no transporte de entulho
 Figura 4b – Caminhão compactador para lixo domiciliar

- Figura 4c – Caminhão compactador com dispositivo para basculamento de recipiente estacionário
- Figura 4d – Veículo poliguindaste para transporte de caçamba intercambiável
- Figura 4e – Veículo com guindaste para coleta em postos de entrega voluntária ou coleta de podas
- Figura 4f – Trator para coleta em locais de difícil acesso
- Figura 5 – Coleta diurna
- Figura 6 – Coleta noturna
- Figura 7 – Coleta dos resíduos de serviços de saúde
- Figura 8 – Símbolo de local para descarte de lixo
- Figura 9 – Varrição manual
- Figura 10 – Veículo para varrição mecânica

Tabela

- Tabela 1 – Exemplo de dimensionamento de frota no turno diurno

CAPÍTULO IV – PROCESSAMENTO DO LIXO

Parte 1 – Segregação de Materiais

Figuras

- Figura 1 – PEVs – Postos de Entrega Voluntária
- Figura 2 – Recicláveis da coleta seletiva
- Figura 3 – Usina de Triagem
- Figura 4 – Objeto feito de “madeira plástica”

Tabela

- Tabela 1 – Coleta seletiva para alguns municípios

Parte 2 – Reciclagem de Matéria Orgânica (Compostagem)

Figuras

- Figura 1 – Evolução da cura do composto
- Figura 2 – Teste da mão
- Figura 3 – A umidade no processo de compostagem e no produto acabado

- Figura 4 – Tendências de evolução das principais variáveis durante a compostagem (M.O. – Matéria Orgânica; N – Nitrogênio; C.T.C. – Capacidade de Troca Catiônica; C.R.A – Capacidade de Retenção e Água)
- Figura 5 – Esquema geral de uma usina de triagem compostagem
- Figura 6 – Descarga do lixo no fosso
- Figura 7 – Transferência do lixo do fosso para a moega
- Figura 8 – Recepção do lixo na esteira de seleção de recicláveis
- Figura 9 – Guincho hidráulico com caçamba tipo póliplo
- Figura 10 – Moega de concreto com esteira metálica
- Figura 11 – Esteira metálica com taliscas
- Figura 12 – Triadores de materiais recicláveis
- Figura 13 – Catadores
- Figura 14 – Esteira
- Figura 15 – Esteira de triagem
- Figura 16 – Polia magnética
- Figura 17 – Pátio: leira cônica
- Figura 18 – Pátio: leira cônica
- Figura 19 – Pátio: leira piramidal
- Figura 20 – Pátio: leira piramidal
- Figura 21 – Peneira de beneficiamento do composto curado
- Figura 22 – Prensas para recicláveis
- Figura 23 – Fluxo de materiais numa usina de triagem e compostagem
- Figura 24 – Usina para processamento de cerca de 50 t/dia
- Figura 25 – Usina para processamento de mais de 100 t/dia
- Figura 26 – Corte longitudinal de uma usina de compostagem acelerada
- Figura 27 – Valor nutricional do composto em relação ao fertilizante mineral

Quadros

- Quadro 1 – Recomendações de projeto para uma usina de triagem e compostagem de lixo domiciliar

Quadro 2 – Recomendações de operação para uma usina de triagem e compostagem de lixo domiciliar

Quadro 3 – Valores estabelecidos como parâmetros de controle para composto orgânico e tolerâncias conforme Legislação do Brasil

Quadro 4 – Especificações para granulometria de fertilizantes

Parte 3 – Reciclagem de Papel

Figuras

Figura 1 – Fibras celulósicas – Papel – Superfície do papel

Figura 2 – O papel a partir de suas matérias-primas

Figura 3 – Processo de produção de papel

Figura 4 – Produção brasileira de papéis por tipo, ano 2015

Figura 5 – Resultado do Setor de Aparas em 2015 (em 1.000 toneladas)

Figura 6 – Obtenção de pasta celulósica, papel e polpa moldada a partir de aparas

Figura 7 – Desagregação de embalagens cartonadas tipo longa vida e seus produtos

Figura 8 – Equivalência entre pasta celulósica de aparas e de madeira

Figura 9 – Recuperação de aparas no Brasil

Figura 10 – Formação de uma folha manual por um membro da ADERE

Figura 11 – Linha de produtos de papéis manuais da ADERE

Tabelas

Tabela 1 – Classificação dos papéis no Brasil

Tabela 2 – Classificação das aparas

Tabela 3 – Benefícios da substituição de recursos virgens por materiais secundários

Tabela 4 – Produção de pasta celulósica e papel no Brasil

Parte 4 – Reciclagem de Plástico

Figuras

Figura 1 – Consumo aparente de resinas termoplásticas (em milhões de toneladas)

Figura 2 – Processos de transformação de plásticos

Figura 3 – Sistema internacional de codificação de plásticos

Figura 4 – Processos de recuperação de plásticos separados

Figura 5 – Reciclagem de urna mistura de plásticos

Quadros

Quadro 1 – Tipos de plástico utilizados na fabricação de alguns artefatos

Quadro 2 – Reciclagem de plásticos separados por tipo de resina

Quadro 3 – Etapas envolvidas no processo de recuperação de mistura de plásticos

Tabelas

Tabela 1 – Produção mundial de resinas termoplásticas

Tabela 2 – Evolução do consumo de alguns plásticos no Brasil

Tabela 3 – Densidade de plásticos peletizados

Parte 5 – Reciclagem de Vidro

Figuras

Figura 1 – Composição do vidro sem caco

Figura 2 – Composição com caco de vidro

Figura 3 – Embalagens de vidro no Brasil

Figura 4 – Reciclagem de vidro no Brasil

Quadros

Quadro 1 – O setor de vidro no Brasil

Parte 6 – Reciclagem de Metal

Figuras

- Figura 1 – Etapas na fabricação do metal primário e do metal secundário
- Figura 2 – Eletroímã para separação do metal no lixo
- Figura 3 – O ciclo da lata de alumínio (autorizado Reynolds Latasa)

Tabela

- Tabela 1 – Índice de reciclagem de latas de alumínio (%)

Parte 7 – Reciclagem de Entulho

Figuras

- Figura 1 – Lançamento de entulho reciclável em equipamento de trituração (Aterro de Itatinga-SP, atualmente esgotado)
- Figura 2 - Montes de agregados reciclados de entulho. Ao fundo, à direita, equipamento de trituração e correias transportadoras (Aterro de Itatinga-SP, atualmente esgotado)
- Figura 3 – Aspecto do agregado reciclado a ser destinado para obras de pavimentação
- Figura 4a – Equipamento para reciclagem (trituração) e entulho (Estação de Reciclagem de Entulho do Estoril – Prefeitura de Belo Horizonte-MG)
- Figura 4b – Material triturado pronto para ser reutilizado (Estação de Reciclagem de Entulho do Estoril – Prefeitura de Belo Horizonte-MG)
- Figura 5 – Entulho selecionado em obra de edificação predial para ser reciclado no próprio local
- Figura 6 – Moinho de rodas triturando entulho gerado na própria obra para ser usado em argamassa de alvenaria em edificação predial
- Figura 7 – Composição média do entulho de obras no Brasil (em %)
- Figura 8 – Requisitos básicos da instalação de reciclagem municipal

Tabelas

- Tabela 1 – Quantidade de RCC em alguns municípios e geração *per capita*
- Tabela 2 – Identificação do consumidor de cimento
- Tabela 3 – Composição do entulho municipal

Parte 8 – Reciclagem de Outros Materiais

Figura

- Figura 1 – Ciclo de vida do pneu

Parte 9 – Tratamento Térmico

Figuras

- Figura 1 – Esquema de usina de incineração de resíduos sólidos com recuperação de energia
- Figura 2 – Desenho esquemático de um incinerador e câmaras múltiplas
- Figura 3 – Esquema de um incinerador de leito fluidizado
- Figura 4 – Desenho esquemático de um sistema de controle de poluentes
- Figura 5 – Sistema de absorção de gases utilizando processo semiúmido
- Figura 6 – Desenho esquemático de sistema de absorção seco para gases ácidos

Quadros

- Quadro 1 – Investimentos em um incinerador
- Quadro 2 – Fase dos principais poluentes gerados em unidades de incineração
- Quadro 3 – Efeitos dos metais nos seres humanos
- Quadro 4 – Principais efeitos dos poluentes adversos à saúde humana

Tabelas

- Tabela 1 – Destino dos resíduos sólidos urbanos
- Tabela 2 – Caracterização química qualitativa e quantitativa dos resíduos de serviços de saúde
- Tabela 3 – Padrões de emissão de poluentes para incineradores de RSS no Estado de São Paulo

- Tabela 4 – Efeitos das estratégias nas taxas de emissão de poluentes
- Tabela 5 – Parâmetros operacionais a serem monitorados em função da estratégia de controle considerada

Parte 10 – Resíduos de Serviços de Saúde

Figura

- Figura 1 – Proporção de municípios, por destinação final dos resíduos sólidos de serviços de saúde, segundo as Grandes Regiões - 2008

Quadros

- Quadro 1 – Tipos de resíduos gerados por unidade de um hospital
- Quadro 2 – Comparação entre diversos tipos de tratamento de efluentes líquidos

CAPÍTULO V – DISPOSIÇÃO FINAL DO LIXO

Figuras

- Figura 1 – Lixão
- Figura 2 – Aterro sanitário
- Figura 3 – Fluxograma de decisões sobre a disposição de resíduos do município
- Figura 4 – Fechamento do aterro sanitário
- Figura 5 – Ausência de critérios e controle da disposição
- Figura 6 – Instalação de drenos para efluentes líquidos e gasosos
- Figura 7 – Coleta e tratamento dos efluentes líquidos percolados
- Figura 8 – Cinturão verde em torno da área de disposição
- Figura 9 – Infraestrutura de acesso e circulação
- Figura 10 – Pontos de monitorização geotécnica do aterro sanitário
- Figura 11 – Zoneamento das áreas de disposição dos resíduos
- Figura 12 – Composição dos resíduos urbanos
- Figura 13 – Coleta e transporte do lixo
- Figura 14 – Mapa geológico

- Figura 15 – Mapa pedológico
- Figura 16 – Mapa geomorfológico
- Figura 17 – Mapa hidrogeológico
- Figura 18 – Mapa de isoietas
- Figura 19 – Legislação atual
- Figura 20 – Mapa de uso e ocupação do solo
- Figura 21 – Mapa cadastral das estradas e áreas pré-selecionadas
- Figura 22 – Perfil geológico-geotécnico
- Figura 23 – Informações hidrogeológicas
- Figura 24 – Processos de tratamento dos resíduos
- Figura 25 – Perfil esquemático de aterro sanitário em rampa
- Figura 26 – Métodos de aterramento
- Figura 27 – Componentes de uma camada de cobertura final em aterro sanitário
- Figura 28 – Dreno de biogás
- Figura 29 – Lagoa de tratamento de percolado

Quadros

- Quadro 1 – Critérios utilizados para cálculo do índice de qualidade de aterros de resíduos – IQR
- Quadro 2 – Dados para avaliação de áreas para instalação de aterros sanitários (fase de pré-seleção de áreas)
- Quadro 3 – Critérios para priorização das áreas para instalação de aterro sanitário (fase de pré-seleção de áreas)
- Quadro 4 – Vantagens do processo aeróbio sobre o processo anaeróbio

CAPÍTULO VI – TRATAMENTO DE EFLUENTES LÍQUIDOS DE ATERROS SANITÁRIOS

Figuras

- Figura 1 – Esquema do balanço hídrico em uma célula de aterro sanitário
- Figura 2 – Lodos ativados
- Figura 3 – Lagoas aeradas

Tabelas

- Tabela 1 – Composição do chorume com diferentes idades

- Tabela 2 – Valores de características do chorume de aterros novos e consolidados
- Tabela 3 – Valores típicos e faixa de variação dos parâmetros do chorume para as fases acetogênica e metanogênica de um aterro sanitário
- Tabela 4 – Precipitação e produção de chorume em alguns aterros sanitários na Alemanha

CAPÍTULO VII – LEGISLAÇÃO E LICENCIAMENTO AMBIENTAL

Figura

- Figura 1 – Fluxograma de atividades para avaliação de impacto ambiental no Estado de São Paulo

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

A

ABAL – Associação Brasileira do Alumínio
 ABCP – Associação Brasileira de Cimento Portland
 ABEQ – Associação Brasileira de Engenharia Química
 ABES – Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental
 ABGE – Associação Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental
 ABINEE – Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica
 ABIPLAST – Associação Brasileira da Indústria do Plástico
 ABIVIDRO – Associação Técnica Brasileira das Indústrias Automáticas de Vidro
 ABLP – Associação Brasileira de Limpeza Pública
 ABM – Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais
 ABMS – Associação Brasileira de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica
 ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas
 ABPO – Associação Brasileira de Papel Ondulado
 ABRE – Associação Brasileira de Embalagens
 ABRELP – Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública
 ABREMPAST – Associação Brasileira de Recicladores de Material Plástico
 ABTCP – Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel
 ADERE – Associação para Desenvolvimento, Educação e Recuperação de Excepcional
 AIA – Avaliação de Impacto Ambiental
 AINSI – *American National Standards Institute*
 ANAP – Associação Nacional dos Aparistas de Papel
 ANFPC – Associação Nacional dos Fabricantes de Papel e Celulose
 ANIP – Associação Nacional da Indústria Pneumática
 AP – Audiência Pública
 APA – Área de Proteção Ambiental
 ARIE – Área de Relevante Interesse Ecológico
 ASCE – *American Society of Civil Engineers*
 ASMARE – Associação dos Catadores de Papel, Papelão e Materiais Reaproveitáveis (Belo Horizonte-MG)
 ASTM – *American Society for Testing and Materials*
 ATBIAV – Associação Técnica Brasileira das Indústrias Automáticas de Vidro

B

BNDES – Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social
 BRACELPA – Associação Brasileira dos Fabricantes de Celulose e Papel
 BSI – *British Standards Institution*

C

CBT – Comitê Brasileiro de Túneis
 CDR – Combustível Derivado de Resíduos
 CEMPRE – Compromisso Empresarial para Reciclagem
 CEN – Comunidade Européia
 CENWIN – Controle Eletrônico de Normas (para Windows)
 CEPAL – Comissão Econômica para América Latina e Caribe
 CEPAM – Centro de Estudos e Pesquisas de Administração Municipal – Fundação Prefeito Faria Lima (SP)
 CETEA – Centro de Tecnologia de Embalagens de Alimentos (Campinas-SP)
 CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (SP)
 CIPA – Comissão Interna de Prevenção de Acidentes
 CIRS – Centro de Informação sobre Resíduos Sólidos
 CLT – Consolidação das Leis do Trabalho
 CMN – Comitê Mercosul de Normalização
 CNEN – Comissão Nacional de Energia Nuclear
 COHISI – Coordenação Técnica de Higiene, Segurança Industrial e Controle da Poluição (SÉSI)
 CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente
 CONSEMA – Conselho Estadual de Meio Ambiente (SP)
 CONTRAN – Conselho Nacional de Trânsito
 COOPAMARE – Cooperativa dos Catadores Autônomos de Materiais Recicláveis
 COPANT – Comitê Pan-Americano de Normas Técnicas
 COT – Carbono Orgânico Total
 CRA – Capacidade de Retenção de Água
 CTC – Capacidade de Troca Catiônica
 CTRSM – Central de Tratamento de Resíduos Sólidos Municipais

D

DAIA – Departamento de Avaliação de Impactos Ambientais (SP)
DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio
DNAEE – Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica
DNPM – Departamento Nacional da Produção Mineral
DOU – Diário Oficial da União
DQO – Demanda Química de Oxigênio

E

EDUSP – Editora da Universidade de São Paulo
EIA – Estudo de Impacto Ambiental
EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
EPA – ver USEPA
EPI – Equipamento de Proteção Individual
EPU – Editora Pedagógica Universitária
EPUSP – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
ETE – Estação de Tratamento de Esgoto
ETSU – *Energy Technology Support Unit (United Kingdom Department of Trade and Industry)*
EVA – Poli(Acetato de Etileno Vinil)

F

FAO – *Food and Agriculture Organization*
FAS – Fundo de Apoio ao Desenvolvimento Social
FATMA – Fundação do Meio Ambiente (SC)
FEA – Faculdade de Economia e Administração (Universidade de São Paulo)
FEEMA – Fundação Estadual de Engenharia do Meio Ambiente (RJ)
FEPAM – Fundação Estadual de Proteção Ambiental (RS)
FGV – Fundação Getúlio Vargas
FINSOCIAL – Fundo de Investimento Social
FNMA – Fundo Nacional do Meio Ambiente

H

HDPE – *High Density Polyethylene* (polietileno de alta densidade)

I

IAEG – *International Association for Engineering Geology and the Environment*
IAP – Instituto Ambiental do Paraná
IBAM – Instituto Brasileiro de Administração Municipal
IBAMA – Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
IBDF – Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal
IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IBRACON – Instituto Brasileiro do Concreto
IBS – Instituto Brasileiro de Siderurgia
IE – Instituto de Engenharia
IMESP – Imprensa Oficial do Estado de São Paulo
IPAAM – Instituto de Proteção Ambiental do Estado do Amazonas
IPES – Instituto de Promoción de la Economía Social
IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S.A.
IPTU – Imposto Predial e Territorial Urbano
IPVA – Imposto sobre a Propriedade de Veículos Automotores
IQR – Índice de Qualidade de Aterros de Resíduos
ISO – International Organization for Standardization
ISSMGE – International Society for Soil Mechanics and Geotechnical Engineering
ISWA – International Solid Waste Association
ITAL – Instituto de Tecnologia de Alimentos (Campinas-SP)
JICA – Japan International Cooperation Agency

L

LATASA – Latas de Alumínio S.A.
LEM – Laboratório de Ensaio de Materiais
LEMA – Legislação de Meio Ambiente
LEV – Local de Entrega Voluntária
LF – Licença de Funcionamento
LI – Licença de Implantação
L1MPURB – Departamento de Limpeza Urbana (Prefeitura do Município de São Paulo)
LO – Licença de Operação
LP – Licença Prévia

M

MO – Matéria Orgânica
 MMA – Ministério do Meio Ambiente
 MSW – *Municipal and Industrial Solid Waste Division (USEPA)*

N

NBR – Norma Brasileira Registrada
 NEA – Norma de Embalagem e Acondicionamento (IPT-SP)
 NUTAU – Núcleo de Pesquisa em Tecnologia da Arquitetura e Urbanismo (Universidade de São Paulo)

O

OAF – Organização de Auxílio Fraterno
 OECPA – Órgão Estadual de Controle da Poluição Ambiental
 OIT – Organização Internacional do Trabalho
 OMS – Organização Mundial da Saúde
 ONG – Organização Não Governamental
 OPAS – Organização Pan-Americana de Saúde

P

PBR – Programa Brasileiro de Reciclagem
 PCB – *Polychlorinated Biphenyls* (bifenilas policloradas)
 PCI – Poder Calorífico Inferior
 PCPV – Plano de Controle da Poluição por Veículos em Uso
 PEAD – Polietileno de Alta Densidade
 PEBD – Polietileno de Baixa Densidade
 PET – Poli(Tereftalato de Etileno)
 PEV – Posto de Entrega Voluntária
 pH – Potencial Hidrogeniônico
 PNAD – Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílio
 PP – Polipropileno
 PROCONVE – Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores
 PROLATA – Programa de Valorização de Reciclagem das Latas de Aço
 PRONAR – Programa Nacional de Controle da Qualidade do ar
 PS – Poliestireno
 PT – Plano de Trabalho

PU – Poliuretano
 PVC – Poli(Cloreto de Vinila)

R

RAFA – Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente
 RALF – Reator Anaeróbio de Leito Fluidizado
 RAP – Relatório Ambiental Preliminar
 RIMA – Relatório de Impacto Ambiental
 RSM – Resíduos Sólidos Municipais
 RSS – Resíduos Sólidos de Serviços de Saúde
 RUTAS – *Asistencia ai Desarrollo Sostenible*

S

SABESP – Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo
 SDT – Sólidos Dissolvidos Totais
 SEMAR – Secretaria de Recursos Hídricos e Habitação (GO)
 SENAC – Serviço Nacional de Aprendizagem Comercial
 SEPLANTEC – Secretaria do Planejamento, Ciência e Tecnologia da Bahia
 SEPURB – Secretaria de Políticas Urbanas
 SESI – Serviço Social da Indústria
 SIG – Sistema de Informações Geográficas
 SIGIL – Sistema Gerencial Integrado da LIMPURB (Prefeitura do Município de São Paulo)
 SISNAMA – Sistema Nacional do Meio Ambiente
 SST – Sólidos Suspensos Totais
 SUFRAMA – Superintendência da Zona Franca de Manaus

T

TEC – Tarifa Externa Comum
 TFA – Taxa de Fiscalização Ambiental
 TR – Termo de Referência
 TSA – Taxa de Serviços Administrativos

U

UERJ – Universidade Estadual do Rio de Janeiro
 UFRJ – Universidade Federal do Rio de Janeiro
 UFSCar – Universidade Federal de São Carlos (SP)

UGRHIs – Unidades de Gerenciamento de Recursos Hídricos

UNESP – Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho”

UNFPA – United Nations Population Fund

UNICAMP – Universidade de Campinas (SP)

USEPA – United States Environmental Protection Agency

UTC – Unidade de Triagem e Compostagem

W

WEC – World Environment Center

ÍNDICE DE ASSUNTOS

Acondicionamento de lixo

- definição, 43
- coletores rígidos:
 - caçamba, 47
 - cesto estacionário, 46
 - contêiner, 48
 - contentor, 48
 - pequeno, médio e grande, 46
 - móvel, 47
 - móvel basculante, 47
 - para coleta seletiva, 48
 - para serviços de saúde, 61, 227
 - tambor, 47
- sacos plásticos, 45
- veículos, 49

Aterro controlado

- definição, 243

Aterro sanitário

- definição, 244
- avaliação de áreas, 257
- biogás, 279
- chorume, 285
- dimensionamento, 270
- efluentes líquidos, 285
- fechamento, 280
- instalação, 257
- legislação, 262
- licitação, 281
- manutenção e operação, 254
- métodos de aterramento, 272
- percolado, 285
- problemas ambientais, 251
- problemas operacionais, 252
- problemas sanitários, 249
- processos aeróbio e anaeróbio, 269
- projetos:
 - básico, 281
 - de adequação, 253
 - em áreas novas, 268
- tratamento biológico, 269
 - em valas, 270
- viabilização, 264

Catadores de lixo

- cooperativas, 80
- no lixão, 81

Coleta de lixo

- definição, 44

- avaliação de desempenho, 67
- de feiras livres, 72
- de praias, 71
- de serviços de saúde e hospitalar:
 - acondicionamento, 61, 231
 - armazenamento, 61, 231
 - seleção e triagem, 61, 230
 - transporte, 61, 232
- dimensionamento, 50
 - diurna, 53
 - noturna, 53
- domiciliar, 52
- entulho, 72, 171
- estação de transbordo, 60
- estação de transferência, 60
- estimativa de custos, 63
- estimativa de volume, 32, 51
- frequência, 52
- horário, 52
- itinerário, 58
- monitoração, 52
- particular, 44
- regular, 44
- resíduos volumosos, 72
- seletiva:
 - aspectos positivos e negativos, 79
 - benefícios, 79
 - cores para recipientes, 78
 - custos, 62
 - postos e locais de entrega voluntária, 78
 - separação de materiais, 77
 - softwares para roteiros de coleta, 59

Compostagem

- definição, 89
- composto orgânico, 113
 - aeróbia, 89
 - anaeróbia, 117
- lixo compostável, 104
- processos, 89
- reciclagem, 89
- usinas, 92

Disposição final do lixo

- avaliação, 244
- aterro:
 - controlado, 243
 - sanitário, 244
- fluxograma de decisões, 246
- identificação dos problemas, 245
- impactos ambientais e sanitários, 249, 251

- lixão:
- definição, 243
- fechamento, 248

Efluentes líquidos

- definição, 285
de aterros sanitários:
- chorume:
definição, 285
composição, 288
formação, 285
quantidade, 290
tratamento, 292
- percolado, 285
de resíduos de serviços de saúde, 237
de usinas de triagem e compostagem, 103

Embalagens

- cartonadas tipo longa vida, 130
de herbicidas, 190
de inseticidas, 190
de material de limpeza, 190
limpeza, 190
de metal, 151
de papel, 130
de plástico, 140
de vidro, 156
de resíduos tóxicos, 190

Entulho

- definição, 171
acondicionamento e transporte, 72
composição, 178
geração, 172
problemas causados, 171
reciclagem:
- custos, 175
- equipamentos, 180
- instalação da usina, 180
- materiais recicláveis, 178
- particular, 175
- processo, 178
- produtos, 180
- tratamento, 172
situação brasileira e mundial, 175, 177

Gerenciamento integrado de lixo

- definição, 3
desafios, 6
modelos de gerenciamento:
- ações prioritárias, 10

- diagnóstico da situação, 11
- plano diretor, 22

Incineração de lixo (ver Tratamento térmico)

Lâmpadas

- tipos:
- de luz mista, 189
- de vapor de mercúrio, 189
- de vapor de sódio, 189
- fluorescente, 190
manejo e disposição, 190
reciclagem, 189

Latas

- de alumínio, 165
de folha-de-flandres, 165
reciclagem, 165

Legislação ambiental

- código de obras, 309
código de posturas, 309
código tributário, 309
diretrizes orçamentárias, 308
legislação federal:
- decretos, 311
lei de parcelamento do solo urbano, 309
lei de uso e ocupação do solo, 309
lei orçamentária, 309
orçamentos anuais, 308
plano diretor, 308
plano plurianual, 308
serviços de limpeza urbana:
- formas de administração, 310
- referências legais, 310
Sistema Nacional do Meio Ambiente, 307

Licenciamento ambiental

- abordagem de impactos ambientais, 315
licença prévia, 312
licença de implantação, 312
licença de operação ou funcionamento, 313

Lixão (ver Disposição final do lixo)

Lixo

- definição, 29
agrícola, 30
comercial, 29
composição:
- amostragem, 33

- caracterização, 32
- classificação, 29
- de aeroportos, 30
- de entulho, 30, 171
- de portos, 30
- de terminais ferroviários, 30
- de terminais rodoviários, 30
- domiciliar, 29
- hospitalar e de serviços de saúde, 29, 227
- industrial, 30
- infectante, 29, 227
- orgânico (ver **Compostagem**)
- origem, 29
- perigoso, 36
- público, 29
- reciclável (ver **Reciclagem**)
- situação do lixo:
 - no Brasil, 3
 - no mundo, 3

Metal

- no lixo domiciliar, 164
- coleta, 165
- equipamento de separação no lixo, 165
- sucata de metais, 164
- reciclagem, 164
- latas:
 - de alumínio, 165
 - de folha-de-flandres, 165
 - reciclagem, 165

Normas técnicas

- definição, 319
- alcance, 319
- tipos, 319

Papel

- tipos, 123
- composição, 121
- classificação, 124
- aparas:
 - origem, 125
 - classificação, 125
 - produtos, 128
- reciclagem:
 - benefícios, 129
 - fatores favoráveis, 131
 - fatores desfavoráveis, 131
 - no Brasil, 132
 - no município, 133
 - processos, 128

Pilhas e baterias

- componentes tóxicos, 188
- impactos ambientais, 188
- descarte, 188
- reciclagem, 188

Plástico

- tipos, 137
- identificação, 140
- fabricação, 138
- consumo, 138
- reciclagem:
 - benefícios, 144
 - comercialização, 145
 - implantação, 145
 - situação brasileira, 146

Pneus

- descarte, 185
- reutilização, 185
- reciclagem, 185

Processamento do lixo

- segregação, 77
- reciclagem (ver **Reciclagem**)
- incineração, 196

Reciclagem

- definição, 77
- benefícios, 77
- catadores, 80
- coleta seletiva, 77
- comercialização de produtos, 80
- implantação, 82
- incentivos, 77
- materiais recicláveis:
 - borracha, 35
 - composto orgânico, 89
 - embalagem cartonada, 130
 - entulho, 171
 - lâmpadas de descarga de gases, 189
 - lata, 165
 - madeira, 35
 - metal, 164
 - papel e papelão, 128
 - pilha e bateria, 188
 - plástico, 144
 - pneu, 185
 - resíduos de serviços de saúde, 227
 - trapos, 35
 - vidro, 156

Resíduo sólido (ver **Lixo**)

Resíduos de serviços de saúde

acondicionamento, 61, 231
armazenamento, 61, 231
classificação, 228
coleta:
- interna, 61, 230
- externa, 62, 230
disposição, 234
efluentes líquidos, 237
gerenciamento, 229
manejo, 230
reciclagem, 239
transporte, 232
tratamento, 232

Serviços de limpeza

capinagem e roçagem, 71
custos, 44
de bocas-de-lobo, 72
de córregos, 72
de feiras livres, 72
de galerias, 72
de praias, 71
remoção de animais mortos, 72
varrição:
- manual, 70
- mecânica, 71
- noturna, 53
- varredeiras mecânicas e aspiradoras, 71

Transporte de lixo

caminhão coletor:
- basculante, 50
- com guindaste, 50
- compactador, 49
- convencional tipo Prefeitura, 49
- poliguindaste, 50
- trator, 50
guarnição, 57
itinerários (ver **Coleta de lixo**)
dimensionamento da frota, 54
custos, 62

Tratamento do lixo (ver **Processamento do lixo**)

Tratamento térmico

definição, 195
a alta temperatura, 195

a baixa temperatura, 220
de resíduos sólidos municipais, 198
de resíduos de serviços de saúde, 199, 233
incineração:
- histórico, 197
- processos, 220
- planejamento da usina, 198
- legislação, 218
- poluentes, 250
- vantagens, 197
- desvantagens, 197
- custos, 202
incineradores, 200

Usinas de triagem e compostagem

definição, 82
alternativas, 110
aspectos positivos e negativos, 83
benefícios, 83, 116
instalações e equipamentos, 92
projeto, implantação e operação, 104, 107, 108
vantagens, 108

Vidro

composição, 152
propriedades, 151
processos de produção, 153
embalagens de vidro:
- produção, 153
- no lixo domiciliar, 157
- reutilização, 156
caco de vidro, 156
reciclagem, 156
não reciclável, 157

