ANÁLISE E PERSPECTIVAS DE ALTERNATIVAS DE DESTINAÇÃO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS: O CASO DA INCINERAÇÃO E DA DISPOSIÇÃO EM ATERROS

Guilherme Garcia Dias dos Santos

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Planejamento Energético, COPPE, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Planejamento Energético.

Orientador(es): Alessandra Magrini

Claudio Fernando Mahler

Rio de Janeiro

Março de 2011

ANÁLISE E PERSPECTIVAS DE ALTERNATIVAS DE DESTINAÇÃO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS: O CASO DA INCINERAÇÃO E DA DISPOSIÇÃO EM ATERROS

Guilherme Garcia Dias dos Santos

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO INSTITUTO ALBERTO LUIZ COIMBRA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA DE ENGENHARIA (COPPE) DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM CIÊNCIAS EM PLANEJAMENTO ENERGÉTICO.

Examinada por:

_____
Prof. Alessandra Magrini, D.Sc.

_____
Prof. Claudio Fernando Mahler, D.Sc.

_____
Dr. Luciano Basto Oliveira, D.Sc.

RIO DE JANEIRO, RJ - BRASIL
MARÇO DE 2011

Santos, Guilherme Garcia Dias dos

Análise e Perspectivas de Alternativas de Destinação dos Resíduos Sólidos Urbanos: o Caso da Incineração e da Disposição em Aterro / Guilherme Garcia Dias dos Santos. – Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2011.

XV, 193 p.: il.; 29,7 cm.

Orientador: Alessandra Magrini

Claudio Fernando Mahler

Dissertação (mestrado) – UFRJ/ COPPE/ Programa de Planejamento Energético, 2011.

Referências Bibliográficas: p. 186-193.

1. Resíduos Sólidos Urbanos. 2. Aterro sanitário. 3. Incineradores. I. Magrini, Alessandra, *et al*. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Programa de Planejamento Energético. III. Título.

AGRADECIMENTOS

Ao CNPq, pelo suporte financeiro durante todo o período de concretização desse mestrado.

À minha querida orientadora, Alessandra Magrini, que se fez amiga em momentos realmente difíceis.

Ao meu co-orientador Claudio Fernando Mahler pelas importantes observações na melhoria desse trabalho.

Aos funcionários administrativos do PPE que nos auxiliaram e salvaram muitas vezes durante este período, com destaque especial para a secretária acadêmica Sandrinha, que além de ser super competente é um doce de pessoa.

Aos professores do PPE pela transmissão do conhecimento

À todos os amigos do programa que estiverem lado a lado desde o começo.

À minha amiga e orientadora da graduação, Carolina Goulart, que me ensinou muito sobre a produção científica e sobre como ser competente.

Aos amigos do trabalho, que me conheceram durante este período bastante ocupado e agitado e sempre torceram pela minha vitória.

Ao meu avô já falecido, Betinho, por ter investido tanto na educação de seus netos e por ter deixado uma referência de vida para eu poder me guiar.

Ao meus familiares de forma geral, que ansiosamente esperaram o fim deste ciclo.

À minha mãe Rejane e ao meu irmão Gustavo, por representarem o melhor do que se pode definir como família e amigos.

E por fim ao mais grandioso, a Deus, que sempre me guiou de forma vitoriosa e feliz, transformando-me em um espelho do que é uma vida de sucesso ao seu lado.

Resumo da Dissertação apresentada à COPPE/UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Ciências (M.Sc.)

ANÁLISE E PERSPECTIVAS DE ALTERNATIVAS DE DESTINAÇÃO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS: O CASO DA INCINERAÇÃO E DA DISPOSIÇÃO EM ATERRO

Guilherme Garcia Dias dos Santos

Março/2011

Orientadores: Alessandra Magrini
Claudio Fernando Mahler

Programa: Planejamento Energético

Este trabalho se propõe a levantar os principais aspectos relacionados às formas de destinação dos resíduos sólidos urbanos, com ênfase para os aterros sanitários e para a prática da incineração, a fim de traçar uma projeção para o cenário brasileiro. Os pontos levantados e discutidos ao longo do trabalho incluem: os aspectos tecnológicos, sociais, ambientais, econômicos, legais, entre outros. Para a realização de uma análise mais completa, os aspectos foram analisados em 2 países, a Alemanha e os Estados Unidos da América, além da União Européia, como um bloco unificado. A mesma análise foi feita no âmbito nacional, levantando dados sobre a geração de resíduos sólidos urbanos no Brasil, sobre a utilização dos aterros sanitários, e sobre o uso dos incineradores. Por este trabalho é possível perceber que o Brasil ainda se encontra em um estágio imaturo no que se refere ao gerenciamento dos resíduos, precisando assim passar por algumas etapas. A utilização dos aterros sanitários será ainda por muito tempo a realidade da destinação dos resíduos sólidos urbanos no Brasil, porém o cenário político e legal atual já aponta para mudanças positivas no panorama dos resíduos no Brasil.

Abstract of Dissertation presented to COPPE/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science (M.Sc.)

ANALYSIS AND AN OUTLOOK OF ALTERNATIVES TO DISPOSAL OF MUNICIPAL SOLID WASTES: THE CASE OF INCINERATION AND DISPOSAL IN LANDFILL

Guilherme Garcia Dias dos Santos

March/2011

Advisors: Alessandra Magrini
Claudio Fernando Mahler

Department: Energy Planning

This thesis intends to raise the main aspects related to ways of disposing the municipal solid waste, with emphasis on landfilling and incineration use in order to draw a projection for the Brazilian context. The issues raised and discussed throughout the work include: the technological, social, environmental, economic, and legal issues, among others. To conduct a more comprehensive analysis, the aspects were analyzed in two different countries, Germany and the United States of America, besides the European Union as a unified block. The same analysis was done at national level through collecting data on the municipal solid waste generation in Brazil, on the waste landfilling, and on the waste incineration. Through this study you can see that Brazil is still at an immature stage with regard to waste management, thus needing to go through some steps. Landfilling shall be for a long time the reality for the municipal solid waste disposal in Brazil, however the current legal and political scene already points to positive changes in the Brazilian waste panorama.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO.....1

CAPÍTULO 1. PANORAMA DA PRODUÇÃO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS 8

1.1. O BRASIL.....11

1.2. A REGIÃO METROPOLITANA DO RIO DE JANEIRO 19

CAPÍTULO 2. ALTERNATIVAS TECNOLÓGICAS DA DISPOSIÇÃO E TRATAMENTO DOS RSU.....21

2.1. A DISPOSIÇÃO EM ATERROS.....21

2.1.1. CONSTRUÇÃO E OPERAÇAO DE UM ATERRO SANITÁRIO.....23

2.1.2. O APROVEITAMENTO ENERGÉTICO NOS ATERROS SANITÁRIOS..31

2.2. A INCINERAÇÃO DOS RSU.....40

2.2.1. OS FORNOS DE INCINERAÇÃO.....43

2.2.2. INCINERAÇÃO COM APROVEITAMENTO ENERGÉTICO (WTE).....58

CAPÍTULO 3. ALGUMAS EXPERIÊNCIAS INTERNACIONAIS.....64

3.1. ATERROS SANITÁRIOS.....64

3.1.1. EUA.....64

3.1.2. UNIÃO EUROPÉIA.....73

3.1.3. ALEMANHA.....81

3.2. INCINERADORES.....87

3.2.1. EUA.....87

3.2.2. UNIÃO EUROPÉIA.....96

3.2.3. ALEMANHA.....107

CAPÍTULO 4. A EXPERIÊNCIA BRASILEIRA.....116

4.1. LEGISLAÇÃO BÁSICA SOBRE OS RESÍDUOS SÓLIDOS.....116

4.2. OS SISTEMAS DE TRATAMENTO E DISPOSIÇÃO.....133

4.3. O ESTADO DO RIO DE JANEIRO E SUA REGIÃO METROPOLITANA.....147

4.3.1. ALGUNS CASOS NA REGIÃO METROPOLITANA DO RIO DE JANEIRO 152

CAPÍTULO 5. CONSIDERAÇÕES CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES 180

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....186

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1: Evolução do tamanho da população mundial e projeção até 2150.....1

FIGURA 2: Percentual de plástico encontrado nos RSU coletados na cidade de Rio de Janeiro no período entre 1995 até 2009.....3

FIGURA 1.1: Taxa de Geração dos resíduos sólidos urbanos nos EUA, de 1960 até 2009.....10

FIGURA 1.2.: Taxa de Geração dos resíduos sólidos urbanos na Alemanha, de 1995 até 2006.....11

FIGURA 1.1.1.: Participação das Regiões do País no Total de RSU Coletado.....14

FIGURA 1.1.2.: Destinação final dos RSU Coletados no Brasil em 2009 e 2008.....15

FIGURA 2.1.1.1.: Esquema de um aterro sanitário.....23

FIGURA 2.1.1.2.: Corte transversal da base de um aterro sanitário com todos os detalhes da construção da camada de impermeabilização inferior.....24

FIGURA 2.1.1.3.: Sistema para captação de chorume e gases da decomposição.....26

FIGURA 2.1.1.4.: Coberturas de solo realizadas em um aterro sanitário.....27

FIGURA 2.1.1.5.: Forma apropriada de deposição dos resíduos dentro da célula.....30

FIGURA 2.1.1.6.: Espalhamento e compactação dos resíduos na célula.....30

FIGURA 2.1.2.1.: Diagrama com as alternativas de aproveitamento do biogás.....32

FIGURA 2.1.2.2.: (a) Dreno típico de biogás de um aterro sanitário, que pode ser adaptado e inserido no sistema de captação de biogás. (b) Cabeçote de adaptação de dreno existente, modelo utilizado na Europa e USA.....33

FIGURA 2.1.2.3.: Esquema do desumidificador Demister.....34

FIGURA 2.1.2.4.: Alternativas para a recuperação de energia térmica do biogás.....36

FIGURA 2.1.2.5.: Esquema do Ciclo Rankine.....37

FIGURA 2.2.1.1.: Esquema simplificado de um forno moderno do tipo Grate firing, com os 4 componentes básicos que o constitui destacados por cores.....45

FIGURA 2.2.1.2.: Esquema de uma planta de incineração Rotary kiln e os elementos que a compõe.....48

FIGURA 2.2.1.3.: Esquema simplificado dos componentes que compõem uma planta de incineração do tipo Câmara Fluidizada, mais especificamente uma Circulating Fluidized Bed (CFB).....53

FIGURA 2.2.2.1.: Diagrama com uma visão global das tecnologias utilizadas na recuperação energética, incluindo a eficiência de cada sistema utilizado.....61

FIGURA 3.1.1.1.: Gerenciamento dos Resíduos Sólidos Urbanos nos Estados Unidos no ano de 2008.....69

FIGURA 3.1.1.2.: O gerenciamento dos RSU nos EUA com a série histórica desde 1960 até 2007, mostrando o percentual total dos resíduos enviados para cada tipo de tratamento/destinação.....70

FIGURA 3.1.1.3.: Gráfico da evolução do número de aterros sanitários em atividade nos Estados Unidos, desde o ano de 1988 até o ano de 2007.....72

FIGURA 3.1.2.1.: Percentual de Resíduos Sólidos Urbanos, RSU, enviados para aterros nos países da EU-27, no ano de 1995 e no ano de 2007.....78

FIGURA 3.1.2.2.: Desenvolvimento do Número de Aterros para resíduos municipais não-perigosos em quatro Estados Membros da UE.....79

FIGURA 3.1.2.3.: Capacidade remanescente dos aterros para resíduos urbanos: anos restantes utilizando a taxa atual de utilização dos aterros.....81

FIGURA 3.1.3.1.: Evolução do número de aterros para resíduos sólidos urbanos (RSU) na Alemanha, de 1993 até 2007.....85

FIGURA 3.1.3.2.: Quantidade em massa de RSU destinados a aterros na Alemanha de 1995 a 2006.....87

FIGURA 3.2.1.1.: Divisão regional das disposições dos RSU nos EUA no ano de 2004. Fonte: HAAREN, 2010.....93

FIGURA 3.2.1.2.: Plantas de Incineração (WTE) em operação nos EUA.....94

FIGURA 3.2.2.1.: Percentual de Resíduos Sólidos Urbanos incinerados nos países da UE-27, no ano de 1995 e de 2007, com o destaque para alguns países.....102

FIGURA 3.2.2.2.: Três agrupamentos de países definido pela estratégia de diversificação à aterragem.....103

FIGURA 3.2.2.3.: Perfil do tratamento dos resíduos sólidos urbanos na União Européia no ano de 2006.....106

FIGURA 3.2.3.1.: Evolução do gerenciamento dos Resíduos Sólidos Urbanos na Alemanha. A recuperação é estimada como a geração de resíduos menos os resíduos que são aterrados e incinerados.....113

FIGURA 4.2.1.: Destinação final dos RSU coletados no Brasil em 2009.....134

FIGURA 4.2.2.: Destinação final dos RSU no Brasil em 2008 e 2009.....136

FIGURA 4.2.3.: Situação das licenças dos aterros das principais regiões metropolitanas do Brasil.....136

FIGURA 4.2.4.: Percentual do volume do lixo coletado, por tipo de destino final, segundo os estratos populacionais dos municípios.....137

FIGURA 4.2.5.: Quantidade de municípios em que existem serviços de coleta de RSS por Macrorregiões e no Brasil em 2008.....143

FIGURA 4.2.6.: Destino final dos RSS coletados por municípios brasileiros em 2008 143

FIGURA 4.3.1.: Consórcios formado no estado do Rio de Janeiro através do Programa “Lixão Zero”..... 150

FIGURA 4.3.1.1.: Foto do antigo lixão da Marambaia, local para onde era enviado o RSU de Nova Iguaçu, com o percolado dos RSUs escoando sem controle pelo solo e mata.....153

FIGURA 4.3.1.2.: Lançamento das membranas de PEAD recobrindo toda fundação e taludes do Aterro em Nova Iguaçu.....157

FIGURA 4.3.1.3.: Detalhe da emenda realizada na Geomembrana de PEAD.....157

FIGURA 4.3.1.4.: A instalação de um sistema de drenagem de fundação em um aterro de grande porte.....158

FIGURA 4.3.1.5.: Detalhe da implantação de Tubos de Drenagem de Percolados na Fundação.....158

FIGURA 4.3.1.6.: Poço vertical instalado no aterro de Nova Iguaçu, detalhe para a tubulação de concreto no centro perfurada e o anel de rachão ao redor.....161

FIGURA 4.3.1.7.: Detalhe de interligação do Poço Vertical com os drenos horizontais 162

FIGURA 4.3.18.: Descida d’água em colchão reno.....164

FIGURA 4.3.1.9.: Caixa de dissipação em Gabião.....164

FIGURA 4.3.1.10.: Diagrama representando a etapa de Pré-processamento dos Resíduos na USINA VERDE e suas sub-etapas.....169

FIGURA 4.3.1.11.: O Painel de Controle da unidade USINAVERDE sendo operada por um técnico.....172

FIGURA 4.3.1.12. - Foto do conjunto turbina-gerador na USINA VERDE. Foto retirada durante visitação à planta.....174

FIGURA 4.3.1.13.: Diagrama com os componentes da Unidade de tratamento de gases da Incineração da USINA VERDE.....174

FIGURA 4.3.1.14.: Fluxo esquemático da planta de incineração USINA VERDE. O pré-tratamento dos resíduos incinerados não esta representado neste esquema.....179

LISTA DE TABELAS

TABELA 1: Análise gravimétrica dos resíduos sólidos urbanos da cidade do Rio de Janeiro nos anos de 1995, 2000, 2005 e 2009.....3

TABELA 1.1: Geração de RSU em diferentes Países e Regiões do Mundo.....9

TABELA 1.1.1. - Dados sobre a coleta dos resíduos sólidos urbanos nas Macro-regiões brasileiras.....13

TABELA 1.1.2. - Evolução da produção de RSUs no Brasil, EUA e Alemanha.....13

TABELA 1.1.3: Geração de RSU no Brasil - 2000.....16

TABELA 1.1.4: Classificação dos locais de disposição de lixo por região metropolitana 18

TABELA 1.2.1.: Quantidade de resíduo coletado per capita a cada dia nas principais cidades brasileiras, com população acima de 500 mil habitantes, e no Brasil.....20

TABELA 2.2.1.1.: Diferenças entre parâmetros de projeto para BFB e CFB.....52

TABELA 2.2.2.1.: Avaliação comparativa de diferentes critérios entre a utilização de aterros sanitários versus a utilização da incineração para a destinação dos RSUs....63

TABELA 3.1.1.1.: Dados históricos sobre a produção total de resíduos nos EUA, sobre a geração per capita diária e sobre o percentual de reciclagem desde 1960 até o ano de 2008.....68

TABELA 3.1.1.2.: Os 10 maiores aterros em operação nos EUA no ano de 2008. Rank criado a partir do número de toneladas dispostas nos aterros no ano de 2008.....73

TABELA 3.1.3.1. - Número de Aterros de Resíduos Sólidos Urbano no período entre 1990 e 2000.....86

TABELA 3.2.1.1.: Emissões finais para grandes unidades para os Combustores de Resíduos Municipais (CRM), com limites para unidades existentes e também para novas unidades.....89

TABELA 3.2.1.2.: Limites de emissões para unidades existentes de pequenos Combustores de Resíduos Municipais (35 - 250 ton/dia).....90

TABELA 3.2.1.3: Emissões de instalações WTE nos EUA e a redução em % das emissões.....92

TABELA 3.2.1.4.: Geração de energia renovável nos EUA no ano de 2002, excluindo a energia hidroelétrica.....95

TABELA 3.2.1.5.: As maiores plantas de incineração de resíduo sólido urbano dos EUA de acordo com o *Energy Recovery Council*.....96

TABELA 3.2.2.1.: Valores limites de emissão de poluentes para as plantas de incineração segundo a Diretiva da União Européia 2000/76/CE.....98

TABELA 3.2.2.2.: Plantas Waste-to-energy na Europa no ano de 2008 e suas respectivas capacidades de tratamento dos resíduos.....105

TABELA 3.2.2.3.: Algumas das principais plantas de incineração de resíduos (WTE) da Europa em operação.....107

TABELA 3.2.3.1.: Limites de emissões diárias e em ½ hora para os incineradores de acordo com a 17ª portaria da Implementação do Ato Federal de Controle de Emissões 110

TABELA 3.2.3.2.: Número de plantas e a capacidade de incineração na Alemanha entre 1965 e 2007.....112

TABELA 3.2.3.3.: Algumas das principais plantas de incineração de resíduos (WTE) da Alemanha.....115

TABELA 4.1.1.: Resumo de leis/resoluções referentes ao gerenciamento de resíduos no Brasil.....127

TABELA 4.1.2.: Resumo de algumas NBRs referente ao gerenciamento de resíduos no Brasil.....128

TABELA 4.1.3.: Limite máximo de emissão de poluentes conforme resolução CONAMA 316/2002.....129

TABELA 4.1.4.: Tabela comparativa dos limites de emissões estabelecidos por regulamentações em cada país e na UE para o uso de incineradores.....132

TABELA 4.1.5.: Resumo das principais leis relativas ao uso dos aterros e à incineração.....133

TABELA 4.2.1.: Destino final dos resíduos sólidos, por unidades de destino dos resíduos Brasil - 1989/2008.....135

TABELA 4.2.2.: Distribuição das atividades de projeto no Brasil por tipo de projeto..138

TABELA 4.3.1.: Legislação estadual referente ao gerenciamento de resíduos.....148

TABELA 4.3.2.: Programas relacionados ao gerenciamento de resíduos da Secretaria Estadual do Ambiente do estado do Rio de Janeiro e uma breve descrição.....149

TABELA 4.3.1.1.: Tabela da emissões medidas na USINAVERDE com a comparação dos limites impostos pela CONAMA 316.2002.....178

LISTA DE SIGLAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

ABRELPE - Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais

BAT - *Best Available Technology* - Melhor Tecnologia Disponível

BFB - *Bubbling Fluidized Bed* - Câmara de Combustão Borbulhante

CAA - *Clean Air Act*

CDR - Combustível Derivado de Resíduo

CFB - *Circulating Fluidized Bed* - Câmara de Combustão Circulatória

CFR - Code of Federal Regulations

CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental

COMLURB - Companhia de Limpeza Urbana

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente

CRM - Combustor de Resíduos Municipais

CTR - Central de Tratamento de Resíduos

DBO - Demanda Bioquímica de Oxigênio

DQO - Demanda Química de Oxigênio

FEEMA - Fundação Estadual de Engenharia do Meio Ambiente

FBC - *Fluidized Bed Combustion* - Câmara de Combustão Fluidizada

GEE - Gases de Efeito Estufa

GWP - *Global Warming Potential* - Potencial de Aquecimento Global

IBAMA - Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IPCC - Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas

MBR - *Mechanical Biological Reactor* - Reator Mecânico Biológico

MDL - Mecanismo de Desenvolvimento Limpo

MMA - Ministério do Meio Ambiente

NBR - Norma Brasileira

NIMB - *Not In My Backyard*

NSPS - New Sources Performance Standards

ONU - Organização das Nações Unidas

PEAD - Polietileno de Alta Densidade

PNRS - Política Nacional dos Resíduos Sólidos

PNSB - Pesquisa Nacional de Saneamento Básico

PPP - Parceria Público-Privada

RCRA - *Resource Conservation and Recovery Act*

RSU - Resíduos Sólidos Urbanos

SEA - Secretaria de Estado do Ambiente

TOC - *Total Organic Carbon* - Carbono Orgânico Total

US EPA - *United States Environmental Protection Agency* - Agência de Proteção Ambiental Americana

WTE - *Waste-To-Energy*

Introdução

Atualmente, pode-se dizer que a produção e a destinação dos resíduos são um problema “cosmopolita”, ou seja, um problema que transcende nações, não distingue nível de desenvolvimento sócio-econômico ou até cultura, atingindo a todos no mundo, sem exceções.

A principal preocupação relacionada à produção de resíduos em todo o mundo está voltada para as repercussões que esses resíduos podem ter sobre a saúde humana e sobre a qualidade do meio ambiente (solo, água, ar e paisagens). Produzidos em todos os estágios das atividades humanas, os resíduos, tanto em termos de composição como de volume, variam em função das práticas de consumo e dos métodos de produção.

Na época do Império, o lixo era essencialmente orgânico. Neste período, ele era depositado na areia das praias sem grandes problemas. Porém, com o passar do tempo o aumento do volume de resíduos passou a ser um problema para o seu gerenciamento. Dois fatores contribuíram para o aumento do volume de resíduos gerado: (i) o crescimento acelerado e desordenado da população mundial após a revolução industrial e (ii) o aumento do montante resíduos gerado por pessoa diariamente.

O gráfico da figura 1 apresenta a evolução do crescimento da população mundial, evidenciando um crescimento diferenciado a partir do início do século XX.

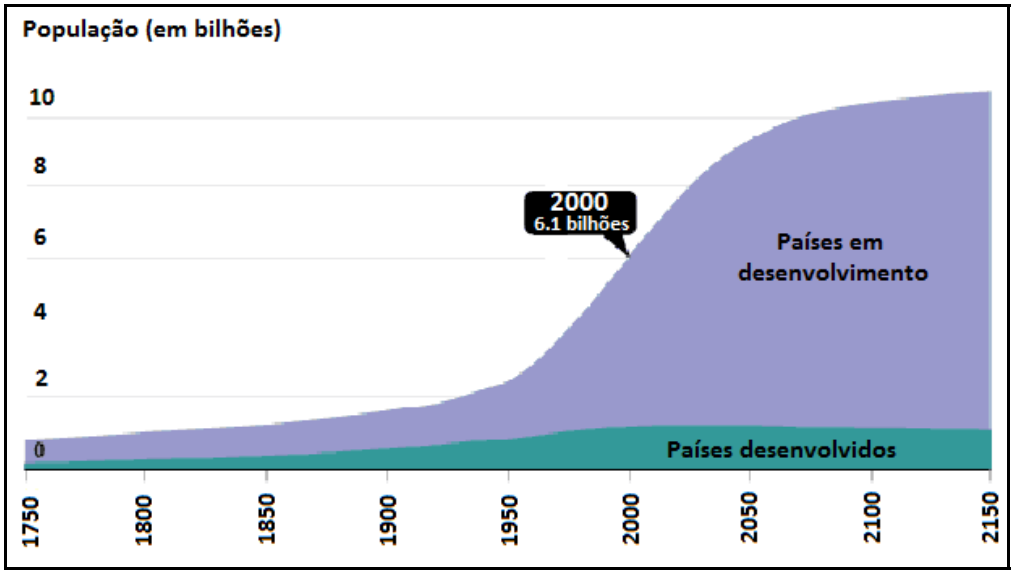

Figura 1 - Evolução do tamanho da população mundial e projeção até 2150. **Fonte:** PRB, 2010.

De acordo com a figura 1, a população mundial ainda está na sua fase de crescimento mais acelerado, sendo impulsionado principalmente pelo crescimento e expansão dos países em desenvolvimento como o Brasil, a China e a Índia.

Dados de um estudo do Banco Mundial, denominado “Indicadores do Desenvolvimento Mundial” (WORLD BANK, 2010), revelam que a população mundial se duplicou em apenas 44 anos, passando de 3.,324 bilhões de habitantes em 1965, para mais de 6,750 bilhões de habitantes em 2009.

No que diz respeito ao gerenciamento de resíduos, o crescimento contínuo e acentuado da população mundial se torna um dos principais desafios para encontrar uma solução de destinação/tratamento para estes resíduos, que cada vez mais aumenta a sua quantidade produzida.

O Surgimento do Plástico: um Herói Tecnológico e ao mesmo tempo um Vilão Ambiental

A fim de criar uma embalagem que pudesse ser utilizada para alimentos, principalmente os perecíveis, e que fosse resistente à água e impermeável, eis que surge o plástico no período da Primeira Guerra Mundial (ABRE, 2010).

As resinas plásticas, como polietileno, poliester, etc..., possibilitaram a ampliação do uso das embalagens transparentes, iniciado na década de 20 com o celofane, permitindo a oferta de embalagens numa infinidade de formatos e tamanhos.

Rapidamente as embalagens plásticas substituíram as antigas embalagens feitas dos mais variados materiais, desde papel/papelão, até madeira e vidro. Suas principais vantagens eram: o baixo custo, a resistencia à umidade, a impermeabilidade, a resistência à degradação do tempo, etc.

A partir dos anos 60, cresceu a produção de embalagens plásticas. O domínio do processo tecnológico de produção dos polímeros plásticos a partir do petróleo trouxe ao homem a possibilidade de criação de plásticos das mais variadas características como: maleabilidade, rigidez, transparência, durabilidade, entre outras (ABRE, 2010).

Dos anos 70 até os dias atuais, a indústria brasileira de embalagem vem produzindo embalagens com características especiais como o uso em fornos de microondas, tampas removíveis manualmente, proteção contra luz e calor e evidência de violação.

A grande quantidade de plástico encontrada atualmente nos resíduos sólidos urbanos (RSUs) também pode ser considerada um grande problema, pois o plástico é um material que se degrada na natureza apenas depois de longos períodos, pelo menos 100 anos, diferentemente das embalagens de papel, que demoram alguns meses para sua completa degradação (LIXO, 2011).

A análise gravimétrica dos resíduos sólidos urbanos do município do Rio de Janeiro apresentada na tabela 1 e a figura 2 mostram a variação na quantidade de plásticos nos RSU da cidade do Rio de Janeiro.

Tabela 1 - Análise gravimétrica dos resíduos sólidos urbanos da cidade do Rio de Janeiro nos anos de 1995, 2000, 2005 e 2009.

Componentes (%)	1995	2000	2005	2009
Papel - papelão	24,1	19,8	13,5	16,1
Plástico	15,1	17,6	15,3	20,3
Vidro	2,6	3,2	3,2	2,8
Material Orgânico	45,4	51,3	60,7	53,6
Outros	12,8	8,1	7,3	7,2

Fonte: COMLURB, 2009.

Os dados da tabela 1 mostram que em 2005 e em 2009 a quantidade de plástico presente no lixo coletado na cidade do Rio de Janeiro foi inferior apenas ao percentual de material orgânico.

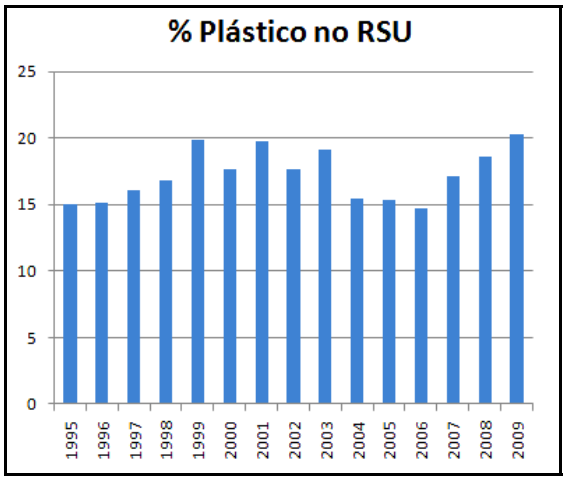

Figura 2 -Percentual de plástico encontrado nos RSU coletados na cidade de Rio de Janeiro no período entre 1995 até 2009.

As Dificuldades na Destinação dos Resíduos Sólidos Urbanos

Os resíduos sólidos urbanos são um tipo de resíduo particularmente complicado de se gerenciar por se tratar de um resíduo muito heterogêneo na sua composição, variando muito de acordo com o local de produção, os hábitos e a cultura da população urbana geradora. A variação na quantidade de matéria orgânica, na quantidade de umidade presente, na quantidade de materiais como o plástico, com alto poder calorífico, entre outras variações, são os maiores desafios no momento de destinar/tratar este tipo de resíduo.

Os RSUs são classificados como um resíduo não-perigoso e não inerte, ou seja, um resíduo Classe II-A conforme a NBR 10.004, sobre a classificação dos resíduos sólidos.

O envio para aterros sanitários, para a incineração, ou para a reciclagem são, juntas, as práticas mais comuns no mundo para a destinação final dos RSUs. Mesmo considerando os possíveis pré-tratamento deste resíduo, seja da parte orgânica, como da porção reciclável, sempre haverá uma porção remanescente desses pré-tratamentos que precisará ser destinada a um aterro sanitário, ou que poderá ser aproveitada como matéria-prima em algum processo.

A utilização de aterros para destinação dos resíduos municipais é uma prática muito antiga. As primeiras evidências de utilização de algo similar a um aterro datam de 3000 anos a.C., na cidade de Cnossos, a capital de Creta, onde os resíduos produzidos eram colocados em covas grandes e recobertos por terra em vários níveis (WASTEONLINE, 2010).

A utilização dos aterros para a destinação dos resíduos ainda continua sendo a técnica mais popular e mais praticada no gerenciamento de resíduos sólidos urbanos em torno do mundo. Por consistir na alternativa ainda mais barata de disposição de resíduos, é a forma mais utilizada no Brasil, na América Latina em geral, e em diversos países, porém nos países menos desenvolvidos os locais de aterro se apresentam predominantemente na forma de lixões ou de aterros controlados.

A maior preocupação na utilização dos aterros sanitários como forma de destinar os RSUs são os passivos ambientais gerados durante as operações, que ainda perduram por muitos anos após o seu encerramento, inviabilizando a utilização de grandes áreas por longos períodos. Além disso, mesmo sob boas condições operacionais, um aterro

sanitário tem grande potencial de causar impactos ambientais ao solo, à atmosfera e aos corpos hídricos locais.

A incineração dos RSU é também uma opção para o tratamento destes resíduos. Porém, assim como os aterros sanitários, existem diversos aspectos limitantes no seu uso. As variações de umidade e da quantidade dos materiais presentes nos RSU são um dos principais aspectos limitantes para a utilização dos RSU na incineração. Além disso, a resistência existente quanto ao uso dos incineradores para destinar os RSU deve-se ao fato do processo de incineração produzir substâncias altamente tóxicas e de alto potencial cancerígeno para o homem, as dioxinas e os furanos (TANGRI, 2003).

Considerando o que foi dito sobre os aterros sanitário e a incineração, ambas as formas de destinação final dependem de novas tecnologias que ultrapassem estas limitações ainda existentes. É neste contexto que, dia-a-dia, tanto a prática de aterragem, como a de incineração, vêm se desenvolvendo do ponto de vista tecnológico e também através de novos processos.

No Brasil esse problema dos resíduos é ainda maior. Trata-se de um país composto por mais de 5.500 municípios, com populações que variam de 2,5 mil a 15 milhões de habitantes, em áreas variadas e que estão espalhados pelas cinco macro-regiões geográficas brasileiras: Norte, Nordeste, Centro-Oeste, Sudeste e Sul. No Brasil, a responsabilidade de gerenciamento dos RSU cabe aos municípios. Considerando que existe no Brasil um grande número de municípios de população pequena, e considerando também que a viabilidade técnica e econômica de operação de um aterro sanitário requer uma quantidade mínima de resíduos a ser tratado, a dificuldade no gerenciamento dos RSU nessas pequenas cidades é evidente .

O objetivo desta dissertação é realizar uma análise dos aspectos que cercam o uso e a prática dessas que são duas formas de destinação final dos RSU no mundo, os aterros sanitários e a incineração. A partir dessa análise, traçar as perspectivas futuras para o uso destas duas formas de destinação, e de outras possíveis opções. Esta análise compreende o levantamento dos aspectos tecnológicos e operacionais, o levantamento das ferramentas legais e administrativas existentes que regulam o funcionamento dos aterros e dos incineradores, além do levantamento histórico e do estado atual de utilização dos aterros sanitários e dos incineradores para a destinação dos RSU.

As análises internacionais foram realizadas em dois países desenvolvidos, os Estados Unidos e a Alemanha. Ambos foram escolhidos por serem países desenvolvidos social e economicamente, porém com moldes de desenvolvimento do gerenciamento dos resíduos sólidos completamente diferente em cada país, expondo dois caminhos diferentes para o gerenciamento de resíduos.

Além dos países citado anteriormente, a análise se estendeu à União Européia, como um bloco unificado, e também ao Brasil.

A consecução dos objetivos propostos foi possível mediante o levantamento e análise da bibliografia pertinente à temática em foco, bem como devido às visitas realizadas à planta da USINAVERDE, planta piloto para aproveitamento energético do lixo, e ao Centro de Tratamento de Resíduos de Nova Iguaçu, a CTR Nova Iguaçu.

O presente trabalho está estruturado em quatro capítulos, como se segue:

O primeiro capítulo traça um panorama dos resíduos sólidos no Brasil e de forma geral no mundo, principalmente no que se refere à quantidade produzida em volume, as forma de tratamento e disposição etc. Além disso, neste capítulo alguns conceitos que serão utilizados durante o trabalho serão definidos e elucidados.

No capítulo dois é feita a descrição em detalhes da tecnologia e dos procedimentos das duas principais alternativas tecnológicas de disposição e tratamento para os resíduos sólidos urbanos, os aterros sanitários e os incineradores. Neste mesmo capítulo, também foram descritos os aspectos tecnológicos relativos ao aproveitamento energético de ambas as formas de destinação dos resíduos.

No terceiro capítulo, denominado “Algumas Experiências Internacionais” foram levantados os aspectos legais, a situação atual e a evolução do gerenciamento dos resíduos sólidos urbanos de cada uma destas formas de destinação em dois diferentes países (Estados Unidos e Alemanha) bem como na Europa de uma forma geral. Além disso, algumas das principais plantas para cada tipo de destinação final foram citadas neste capítulo.

O capítulo 4 é dedicado exclusivamente a apresentar um panorama Brasileiro no que diz respeito ao gerenciamento de resíduos sólidos urbanos. Nele foram levantadas e discutidas as ferramentas legais e administrativas que regulam a utilização dos aterros sanitários e incineradores no Brasil. Além disso, neste capítulo foi levantado o estado atual de utilização dos aterros sanitários e dos incineradores no Brasil, com um breve

histórico dessas duas formas de destinação dos resíduos. Ainda no capítulo quatro, há um subcapítulo que analisa o estado do Rio de Janeiro de forma exclusiva.

O quinto e último capítulo foi reservado para as considerações, as conclusões e as recomendações finais.

Capítulo 1

PANORAMA DA PRODUÇÃO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS

Não é muito difícil de perceber que no senso comum dos brasileiros ainda permeia a idéia de que o lixo é algo sem valor ou utilidade, que deve ser descartado, jogado fora. A idéia dos resíduos como sendo apenas o *output* de um processo e que, talvez, possa servir como *input* de outros processos é ainda, muito pouco aceita e entendida pela maioria. A lei federal n°12.305, que institui a política nacional de resíduos sólidos define resíduo como:

> *"material, substância, objeto ou bem descartado resultante de atividades humanas em sociedade, a cuja destinação final se procede, se propõe proceder ou se está obrigado a proceder, nos estados sólido ou semissólido, bem como gases contidos em recipientes e líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou em corpos d'água, ou exijam para isso soluções técnica ou economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível;"*

Atualmente, mesmo com o crescimento contínuo das preocupações relacionadas à produção e ao gerenciamento dos resíduos sólidos em todo o mundo, há uma grave carência de dados e estudos sobre a produção e o gerenciamento/destinação dos RSU. Esta ausência de estudos e ,conseqüentemente de dados sobre o setor, é reflexo dos poucos investimentos que são realizados, confirmando a insuficiência perante a necessidade atual de soluções ambientalmente sustentáveis para o problema dos resíduos em todo o mundo.

No ano de 2007, THEMELIS e ULLOA estimaram a produção mundial dos resíduos sólidos urbanos e chegaram a um valor aproximado de 1,8 bilhões de toneladas produzidas por ano. Dessas 1,8 bilhões de toneladas/ano, os EUA produzem cerca de 387 milhões de toneladas (SIMMONS, 2006), um pouco mais do que 20% de todo os resíduo sólido urbano gerado no mundo, sendo estes produzidos por apenas cerca de 5% da população mundial. Esses números refletem a grande disparidade entre a quantidade de RSU produzido por um americano (3,26 Kg/dia), por exemplo,

comparado à produção de RSU de um habitante de um país em desenvolvimento (0,55 Kg/dia), como mostrado na Tabela 1.1.

Tabela 1.1. - Geração de RSU em diferentes Países e Regiões do Mundo

País(es)	Kg/dia.hab.
EUA_1	3,26
U.E. e $Japão_1$	1,63
Países em Desenv. $_1$	0,55
$Brasil_2$	0,98

Fonte: 1. THEMELIS (2007), 2. ABRELPE (2009)

O poder de compra da população é um dos pontos-chave para a compreensão dessa grande diferença na produção de resíduos por habitante entre diferentes países. Há uma tendência de se gerar mais resíduos nos países onde a população tem um maior poder de compra, e também um forte apelo voltado a uma demanda artificial de consumo elevada. Além disso, o acesso a um número maior de produtos industrializados nos países mais desenvolvidos favorece ao aumento da produção dos resíduos sólidos urbanos, pois são produtos que normalmente utilizam embalagens plásticas que, após consumo, irão ser descartadas e irão se caracterizar como resíduos sólidos urbanos.

De acordo com dados da figura 1.1. (US EPA, 2010), os EUA produziram 243 milhões de toneladas de resíduos no ano de 2009. Do ano de 2007 para o ano de 2009 a quantidade de resíduos produzidos nos EUA reduziu em cerca de 5%, de 255 para 243 milhões de toneladas. Os dados apresentados no gráfico da figura 1.1. apontam para uma inversão recente no panorama de produção dos resíduos sólidos urbanos nos EUA. Desde 1960, primeiro ano reportado pelos dados da figura 1.1., há um crescimento contínuo da quantidade de resíduos produzido no país. Apenas a partir dos últimos dados desse estudo, referente ao ano de 2009, foi possível observar essa queda na produção dos RSU no país.

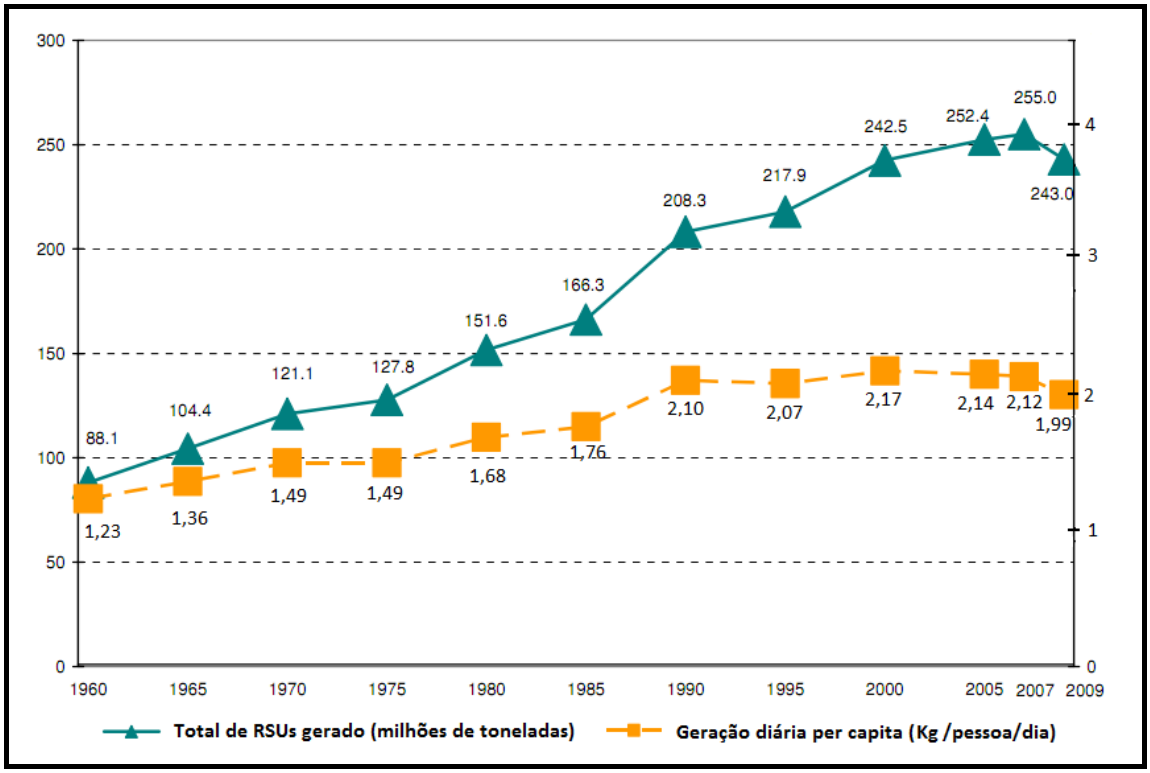

Figura 1.1. - Taxa de Geração dos resíduos sólidos urbanos nos EUA, de 1960 até 2009. **Fonte:** US EPA, 2010.

Ainda na figura 1.1., se esta análise dos resíduos gerados for feita sobre a produção diária de cada habitante nos EUA, é possível perceber que há um crescimento contínuo desde o ano de 1960 até o ano de 1990, oscilando durante os anos seguintes, e mostrando uma tendência de redução desde o ano de 2005. Pelos dados da figura 1.1. ainda não é possível afirmar se tal queda na quantidade de resíduos gerado por cada americano por dia é decorrente de boas práticas na redução do consumo, ou se trata de um efeito associado às crises econômicas que afetaram direta e indiretamente o país.

Fazendo agora uma breve análise da Alemanha, um país também desenvolvido porém com características sócio-econômicas diferentes das características dos EUA. Pela figura 1.2. é possível perceber que desde 1996 a quantidade de resíduos produzido na Alemanha esta estável, com pequenas variações, apresentando uma queda a partir do ano de 2002. Para uma análise conclusiva sobre a possível redução na produção de resíduos na Alemanha, outros dados seriam necessários como: evolução populacional no período, informações sobre compostagem caseira e locais realizadas pelas prefeituras.

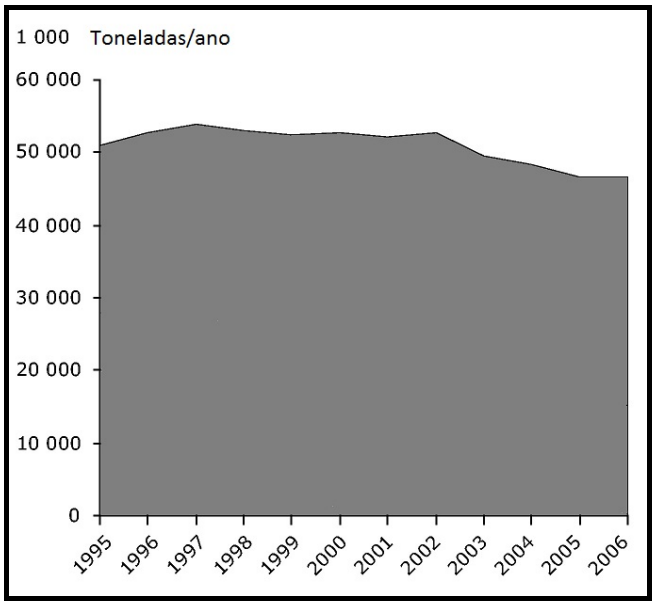

Figura 1.2. - Taxa de Geração dos resíduos sólidos urbanos na Alemanha, de 1995 até 2006. **Fonte:** EEA, 2009.

A população alemã no período entre 1995 e 2006 ficou próxima dos 82 milhões de habitantes (WORLD BANK, 2010). A partir dos dados da figura 1.2. e da população média no período entre 1995 e 2006, foi estimada uma geração de resíduos per capita diária média aproximada de 1,6 Kg/pessoa/dia neste período. A redução da produção de resíduos na Alemanha foi um pouco mais precoce do que em outros países, como nos EUA, pois trata-se de um assunto que já é considerado e discutido a bastante tempo, fazendo parte já da educação do cidadão alemão. Mais adiante o capítulo 3 ajudará na compreensão deste pioneirismo por parte da Alemanha.

1.1. O BRASIL

De forma geral, podemos afirmar que, assim como em outros países em desenvolvimento, os dados referentes aos resíduos no Brasil são muito escassos, e ao mesmo tempo os que existem são conflitantes entre si. Apesar de se apresentarem em uma curva crescente e contínua, os investimentos em estudos e desenvolvimento de pesquisas na área de resíduos ainda são muito incipientes, explicando-se assim a atual dificuldade na produção e obtenção de dados relacionados aos resíduos sólidos. Além disto, mais especificamente no caso do Brasil, podemos dizer também que a extensão do nosso território, juntamente com a quantidade de municípios, mais de 5500, são fatores que dificultam o levantamento de dados e o estudo detalhado dos resíduos sólidos urbanos no nosso país.

Como principal fonte de dados e referência bibliográfica para o panorama dos resíduos sólidos urbanos no Brasil foi utilizado o documento que é publicado anualmente pela Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais, a ABRELPE, o Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil do ano 2009 (ABRELPE, 2009). A escolha deste documento como referência baseou-se em de dois fatores principais, o histórico de 10 anos de publicações deste panorama, e a quantidade de dados presentes nestes relatórios quando comparamos com as outras referências presentes na literatura. Além deste documento, alguns dados da PNSB (Pesquisa Nacional de Saneamento Básico), realizada pelo IBGE em 2000, também foram utilizados, porém os mais de 10 anos de sua publicação é um fator limitante na sua utilização, já que os dados tornam-se obsoletos. Em 2008 o IBGE realizou a sua mais recente PNSB, porém a mesma fornece apenas parte dos dados que foram levantados na PNSB de 2000, apresentando limitações na quantidade de dados levantados.

No Brasil, a geração de RSU no ano de 2009 se intensificou, com uma produção total aproximadamente 57 milhões de toneladas, equivalendo a um crescimento de 7,7% em relação ao ano de 2008, que teve uma produção anual próxima dos 53 milhões de toneladas de RSU (ABRELPE, 2009). O crescimento populacional pode explicar apenas uma pequena parte deste crescimento acentuado da produção dos RSU no ano de 2009. A maior contribuição para este crescimento total de 2008 para 2009 é o crescimento da produção de resíduos sólidos urbanos per capita, passando de 0,92 kg/pessoa/dia em 2008, para 0,98 kg/pessoa/dia no ano de 2009, um crescimento de aproximadamente 7% em apenas um ano (ABRELPE, 2009). Este dado é preocupante, pois o aumento na produção de resíduo *per capita* demonstra que aumentou o consumo individual, mostrando uma tendência para um caminho inteiramente insustentável, principalmente levando em consideração a real necessidade atual em se reduzir o consumo.

O aumento da produção de resíduos sólidos urbanos *per capita* no ano de 2009 é um dos indicadores do aumento do consumo da população, que produz cada vez uma quantidade de resíduo maior. Esse aumento da quantidade de resíduos produzidos segue na contramão dos interesses ambientais e de todo os esforços feitos neste sentido, principalmente o esforço de reduzir os resíduos produzidos, seguindo a política de gerenciamento dos resíduos dos 3Rs (Redução, Reaproveitamento e Reciclagem).

A tabela 1.1.1. apresenta dados sobre a coleta dos RSU nas macro-regiões brasileiras, deixando explícito as diferenças regionais na coleta destes resíduos em cada região.

Tabela 1.1.1. - Dados sobre a coleta dos resíduos sólidos urbanos nas Macro-regiões brasileiras.

	Norte	Nordeste	Centro-Oeste	Sudeste	Sul	Brasil
População Urbana	11.482.246	38.024.507	11.976.679	74.325.454	22.848.997	**158.657.883**
% População	7,2%	24%	7,6%	46,8%	14,4%	**100%**
RSU Coletado (ton/dia)	9.672	35.925	12.398	85.282	17.807	**161.084**
% RSU Coletado	6%	22,3%	7,7%	53%	11%	**100%**
RSU Coletado *per capita*/dia (Kg)	0,842	0,945	1,035	1,147	0,779	**1,015**

Fonte: Elaboração Própria a partir de dados do Censo 2009 e ABRELPE, 2009.

A tabela 1.1.2 compara de forma sintetizada a evolução na produção dos RSUs em 3 países diferentes, Brasil, EUA e Alemanha. Pela tabela, o Brasil apresenta um aumento acentuado na produção de resíduos, diferentemente dos EUA que mostram uma queda na sua produção. Por fim, a Alemanha mostra que a produção de resíduos no país já está em um patamar estável do ano de 2005 para o ano de 2006.

Tabela 1.1.2 - Evolução da produção de RSUs no Brasil, EUA e Alemanha

País	Brasil	EUA	Alemanha
Produção de RSUs	↑ de 7,7% de 2008 para 2009 (ABRELPE, 2009).	↓ de 3% de 2008 para 2009 (US EPA, 2010).	estável de 2005 para 2006 (EEA, 2009).
Produção *per capita*/dia	↑ de 6,6% de 2008 para 2009 (ABRELPE, 2009)	↓ de 4% de 2008 para 2009 (US EPA, 2010).	estável de 2005 para 2006 (EEA, 2009).

Fonte: Elaboração Própria.

Por esta tabela é possível perceber visivelmente os diferentes estágios de amadurecimento dos países quanto a geração de resíduos, mostrando o crescimento do consumo e geração de resíduos dos países em desenvolvimento, e mostrando também a estabilização ou redução da geração dos resíduos nos países desenvolvidos.

No Brasil, assim como em qualquer outro país, a quantidade total e a caracterização dos resíduos sólidos urbanos podem nos trazer muitas informações sobre a população geradora, desde informações socioculturais, até informações em relação à situação econômica da população. A figura 1.1.1. apresenta o percentual de RSU coletado em cada região no Brasil em porcentagem, e com esse dado pode-se constatar que, a

região sudeste gera a 53% de todo resíduo coletado no país, sendo a região mais populosa e desenvolvida do país, estando concentrando nela as principais regiões metropolitanas do país. Além disto, por se tratar de uma região mais industrializada e desenvolvida, a proporção de matéria orgânica nos RSU é inferior devido ao maior consumo de produtos e alimentos industrializados que utilizam embalagens de materiais recicláveis, normalmente compostas por polímeros plásticos.

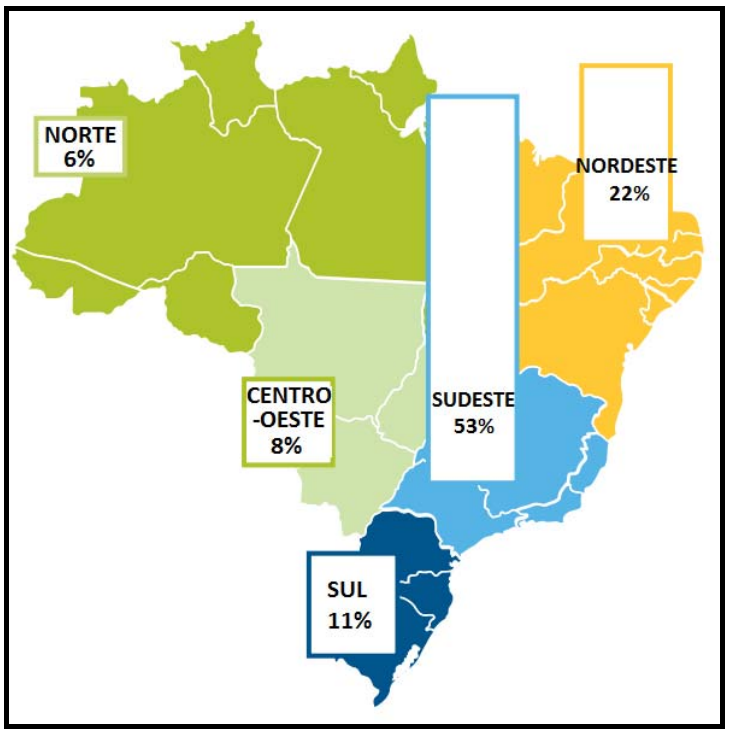

Figura 1.1.1. - Participação das Regiões do País no Total de RSU Coletado. **Fonte:** ABRELPE, 2009.

Ainda na figura 1.1.1. é possível perceber que a região norte, a maior em extensão no nosso território, possui a menor quantidade de RSU coletado do país, apenas 6%, devido ao fato de ser a região com menor densidade populacional e também menor população do país, com cerca de 14 milhões de habitantes, menos de 10% de toda a população (IBGE, 2010). Por se tratar de uma região com grande extensão territorial, onde as cidades são relativamente isoladas uma das outras, é uma região que apresenta dificuldades para qualquer tipo de iniciativa de parceria entre diferentes municípios para a coleta e o gerenciamento dos resíduos.

Por outro lado, a concentração na geração de resíduos que ocorre em determinadas regiões específicas, como as grandes regiões metropolitanas, torna o seu gerenciamento mais complicado devido à escala de resíduos produzidos e que deverão ser tratados. Como conseqüência, o custo total para o tratamento dos resíduo aumenta devido à necessidade de novas tecnologias que possibilitem a

destinação/tratamento deste grande volume de resíduos. Nos casos onde há certa proximidade entre cidades de pequeno e médio porte, passam a ser viáveis econômica e ambientalmente algumas soluções que exigem uma quantidade mínima de resíduos para serem tratados. Estas cidades podem realizar este gerenciamento em conjunto através de parcerias/consórcios regionais onde os resíduos das cidades parceiras são tratados por uma única empresa, dispostos em um único local, facilitando e possibilitando um tratamento mais adequado.

De acordo com ABRELPE (2009), os aterros sanitários são classificados como a única forma de destinação adequada para os resíduos praticada no Brasil, e os aterros controlados e os lixões são classificados como formas de destinar inadequadamente os resíduos, pois de não garantem a devida proteção dos aspectos ambientais envolvidos na sua operação. Analisando a destinação destes resíduos produzidos no Brasil, de acordo com a figura 1.1.2., do ano de 2008 para 2009 é possível afirmar que houve um aumento na porcentagem de resíduos que foram tratados de forma adequada, aproximadamente 25,5 milhões de toneladas/ano em 2008, para aproximadamente 28,5 milhões de toneladas no ano de 2009.

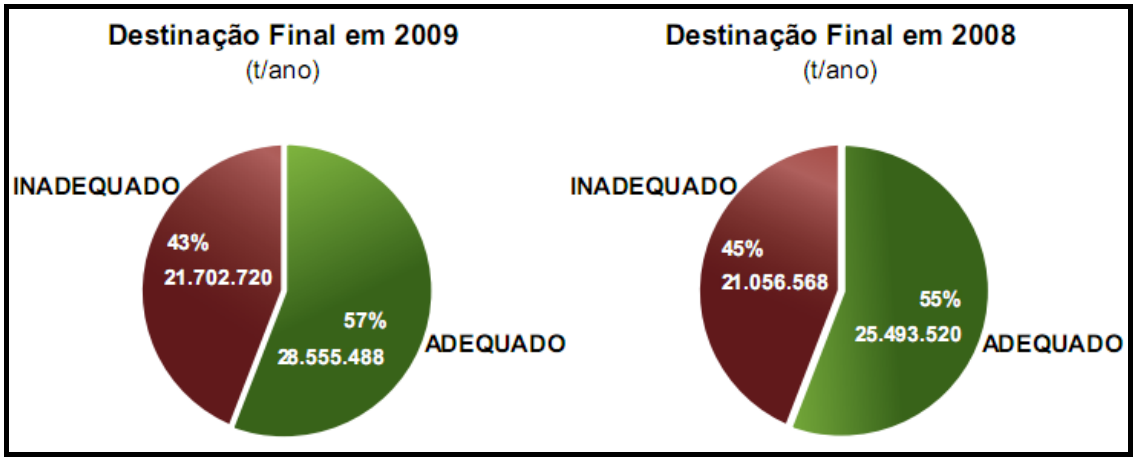

Figura 1.1.2. - Destinação final dos RSU Coletados no Brasil em 2009 e 2008. **Fonte:** ABRELPE, 2009.

De acordo com a figura 1.1.2., apesar do percentual do ano de 2008 para 2009 ter reduzido de 45% para 43%, a quantidade total de resíduos tratados de forma inadequada aumentou em quase 1 milhão de toneladas em 1 ano, ou seja, é importante ressaltar que, independente da forma de tratamento que os resíduos irão receber, ou o percentual de resíduos tratado de forma correta, devemos sempre priorizar a redução da produção dos resíduos para que se tenham resultados positivos concretos a favor do meio ambiente.

Uma importante observação que deve ser feita sobre os dados apresentados na figura 1.1.2. é que a fonte de dados deste estudo foram questionários padronizados respondidos pela a administração de cada município, e que a classificação entre lixão, aterro controlado e aterro sanitário, foi feita pelos respondentes dos questionários, e que em grande parte dos casos não possuía o conhecimento técnico para diferenciar entre essas 3 formas de destinação dos resíduos, sendo eles então levados por uma tendência natural em classificar alguns aterros controlados e até alguns lixões como aterros sanitários, super-estimando quantitativamente esses dados. Além disto, em alguns casos, a classificação de alguns aterros controlados e alguns lixões como aterros sanitários podem ter sido feitas de forma proposital, principalmente por motivações de caráter político.

Da mesma forma que ocorre entre diferentes países, que estão em diferentes estágios de desenvolvimento econômico, internamente no Brasil também há uma diferenciação na quantidade produzida de RSU entre as cidades variando de acordo com o número de habitantes. Por exemplo, de acordo com a CETESB (2001), as cidades com população de até 100 mil habitantes produzem em média 0,4 Kg de RSU por habitante a cada dia. Este valor é aproximadamente a metade da produção de RSU diário nas cidades com população maior do 500 mil habitantes, que produz em média 0,7 Kg por habitante a cada dia, como mostra a tabela 1.1.3

Tabela 1.1.3 - Geração de RSU no Brasil - 2000

Classificação	População	Kg/Habitante/dia	Toneladas/dia	% pop.
Até 100 mil ha.	84.433.133	0,4	33.773	39
100 mil a 200 mil ha.	16.615.355	0,5	8.308	10
200 a 500 mil ha.	22.040.778	0,6	13.224	15
Acima de 500 mil ha.	45.777.000	0,7	32.044	37
Total	169.544.443	0,52	87.324	100

Fonte: CETESB ,2001 e IBGE, 2001.

Essa diferença evidente na produção de RSU entre as pequenas e as grandes cidades brasileiras pode ser explicada através das mesmas justificativas usadas para explicar as diferenças existentes na produção de resíduos pela população dos países desenvolvidos quando comparada à produção dos países em desenvolvimento. De forma simplificada, é possível dizer que o poder de compra dos habitantes das grandes cidades é superior ao poder de compra dos habitantes das cidades pequenas, apresentando assim um nível de consumo mais elevado nas grandes cidades, que

conseqüentemente gera um montante maior de resíduos. Além disso, os habitantes das grandes cidades estão expostos a mecanismos que incentivam o consumo de uma maneira mais intensa, através da propaganda e do marketing, e inclusive da moda, fazendo com que as necessidades pessoais de consumo se “tornem” muito maiores do que a dos moradores de cidades menores, os quais não estão submetidos tão intensamente a esses mesmos mecanismos.

Apesar das regiões metropolitanas brasileiras serem as regiões mais ricas do país e serem as responsáveis por produzir cerca de 40% de todo o lixo do país, elas ainda não possuem um investimento ideal no gerenciamento e tratamento dos seus RSU, apresentando ainda um número considerável de lixões e aterros controlados em funcionamento. A tabela 1.1.4 mostra a forma no qual estão distribuídas entre as metrópoles brasileiras as diferentes formas de disposição dos RSU, ajudando à compreensão deste problema.

Tabela 1.1.4 – Classificação dos locais de disposição de lixo por região metropolitana

Regiões Metropolitanas	Lixões	Aterros Controlado	Aterros Sanitários	TOTAL
Belém			1	1
São Luís				n/d
Fortaleza				n/d
Natal		1		1
Recife		2		2
Maceió				n/d
Salvador			1	1
Belo Horizonte	1		3	4
Vale do Aço				n/d
Grande Vitória			2	2
Rio de Janeiro	1	1	1	3
São Paulo	1		5	6
Baixada Santista	1	1	1	3
Campinas		1	3	4
Curitiba			1	1
Londrina		1		1
Maringá	1			1
Florianópolis				n/d
Itajaí		1		1
Norte/Nordeste Catarinense		1		1
Porto Alegre		3	3	6
Goiânia			1	1
Distrito Federal				n/d
Total	**5**	**12**	**22**	**39**

Fonte: CEPEA, 2004. **n/d** : dado não divulgado

De acordo com a tabela, dentre os 39 locais de destinação dos RSU levantados pelo estudo que se encontram entre as metrópoles, 17 deles possuem um controle parcial (12 aterros controlados) ou nenhum controle (5 lixões) sobre os poluentes oriundos do processo de decomposição dos resíduos. Nesses locais inapropriados de disposição, praticamente todo biogás (50% de metano em sua composição) produzido é liberado para a atmosfera de forma indiscriminada, além da liberação de um outro poluente altamente nocivo ao meio ambiente, o chorume, que apresenta na sua composição diversos componentes tóxicos em altas concentrações, dificultando a sua assimilação pelo ecossistema local.

Os números apresentados na tabela 1.1.4 não traduzem com precisão a situação do resto do país, pois as regiões analisadas são compostas de cidades de médio e

grande porte, cidades que possuem melhores condições de investimentos em saneamento e no tratamento de seus resíduos. A partir desta observação pode-se esperar um panorama ainda mais alarmante no que se refere às cidades com menos habitantes, pois trata-se de cidades com pouca ou nenhuma infra-estrutura para a disposição/tratamento desses resíduos, e onde a eficiência dos órgãos responsáveis pela fiscalização é ainda mais reduzida. Por outro lado, a quantidade de RSU produzidos nestas pequenas cidades, comparando com os grandes centros urbanos, é reduzida, diminuindo assim o potencial dos impactos decorrentes do mal gerenciamento desses resíduos.

1.2. A REGIÃO METROPOLITANA DO RIO DE JANEIRO

Dados da COMLURB (2009) mostram que diariamente na cidade do Rio de Janeiro foram recolhidos cerca de 10.000 toneladas de lixo domiciliar e de resíduos produzidos por toda a cidade. Deste total, 40% foi retirado das ruas. Da mesma forma que ocorre em outras grandes cidades, como na cidade de Nova Iorque, a grande quantidade de resíduos gerados diariamente combinada à alta concentração da população reduz a oferta de espaços físicos para a construção de aterros ou plantas de incineração nas grandes cidades, fazendo com que o gerenciamento desses resíduos passe a ser mais complexo do ponto de vista logístico e também mais oneroso

Em um dos mais conhecidos e complexos casos, o da cidade de Nova Iorque, que produz por dia aproximadamente 12.000 toneladas de RSU, os resíduos são levados por trens ou barcaças para aterros em outras cidades ou até para outros estados, viajando por até 500 km para terem sua correta disposição/tratamento, confirmando a complexidade e o alto custo do tratamento dos RSU nas grandes cidades (LESTER, 2009). No Rio de Janeiro existem também grandes problemas na logística do nosso lixo urbano. Problemas esses antigos, iniciados pela escolha do terreno para a construção do aterro de Gramacho, que no seu princípio era apenas um lixão, além de problemas atuais, como a dificuldade para encontrar e escolher um local e o processo de licenciamento para a construção de um aterro que substituirá o aterro de Gramacho, que já está finalizando suas operações de recebimento de resíduos.

Na cidade do Rio de Janeiro, a produção diária de lixo é de 1,617 Kg/habitante, como mostra a tabela 1.2.1., sendo uma das maiores taxas de produção de resíduo per capita do país, e uma população de mais de 6 milhões de habitantes. Assim como a cidade do Rio de Janeiro, outras grandes cidades brasileiras apresentam altas taxas

de produção de resíduos por habitante/dia quando comparadas à média nacional (ABRELPE, 2009).

Tabela 1.2.1. - Quantidade de resíduo coletado per capita a cada dia nas principais cidades brasileiras, com população acima de 500 mil habitantes, e no Brasil.

Município	UF	População Urbana 2009 (hab)	Qtde. RSU Coletado (Kg/hab/dia)
Manaus	AM	1.738.641	1,247
Fortaleza	CE	2.505.552	1,357
João Pessoa	PB	702.235	1,538
Natal	RN	788.618	1,830
Salvador	BA	2.936.698	1,440
Brasília	DF	2.468.900	1,698
Belo Horizonte	MG	2.452.617	1,253
Rio de Janeiro	RJ	6.186.710	1,617
São Paulo	SP	10.472.872	1,338
Curitiba	PR	1.851.215	1,195
BRASIL		**158.657.883**	**1,015**

Fonte: ABRELPE, 2009.

Capítulo 2

ALTERNATIVAS TECNOLÓGICAS DA DISPOSIÇÃO E TRATAMENTO DOS RSU

2.1. A DISPOSIÇÃO EM ATERROS

O aterro é uma área designada a receber resíduos sólidos, tais como os resíduos sólidos urbanos (RSU), entulhos da construção civil, lodo da estação de tratamento, entre outros. O aterro sanitário recebe especificamente os resíduos sólidos urbanos.

O manual de gerenciamento integrado de lixo municipal (IPT/CEMPRE, 1995 *apud* CEPEA, 2004) define o aterro sanitário como: um processo utilizado para a disposição de resíduos sólidos no solo – particularmente lixo domiciliar – fundamentado em "critérios de engenharia e normas operacionais específicas, que permite a confinação segura em termos de controle de poluição ambiental e proteção à saúde pública"; ou "forma de disposição final de resíduos sólidos urbanos no solo, por meio de confinamento em camadas cobertas com material inerte, geralmente solo, segundo normas operacionais específicas, de modo a evitar danos ou riscos à saúde pública e à segurança, minimizando os impactos ambientais".

De acordo com o manual sobre o aproveitamento energético de aterros produzido pelo Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada da USP (CEPEA, 2004), o aterro sanitário é uma prática de disposição que está de acordo com as boas técnicas de construção, de operação e de monitoramento. Segundo este manual, um aterro sanitário deve atender no mínimo às seguintes condições de operação:

- Impermeabilização da área com manta plástica e/ou argila compactada de baixa taxa de permeabilidade;
- Drenagem inferior de chorume;
- Drenagem vertical e horizontal para o biogás e chorume;
- Drenagem de pé de talude;
- Drenos de monitoramento;
- Drenagem pluvial superficial;

- Procedimento para compactação do lixo;
- Cobertura diária com argila;
- Cobertura final de argila;
- Acesso pavimentado;
- Balança para pesagem dos resíduos aterrados;
- Sistema de tratamento de chorume; e,
- Segurança para evitar invasão de catadores.

O resíduo, uma vez depositado em um aterro sanitário, passará por transformações físico-químicas que comumente são chamadas

de “processo de decomposição”. Durante o processo de decomposição o resíduo irá reduzir sua massa inicial devido basicamente a duas transformações na sua composição, primeiro a matéria orgânica presente irá produzir um gás, o biogás, composto basicamente de metano e gás carbônico. Em seguida, a segunda transformação será a combinação da umidade (H_2O) presente nestes resíduos com a matéria orgânica restante, gerando o chorume, um percolado com altas concentrações de matéria orgânica e de outros compostos com alto potencial poluente. Após a decomposição de toda parte orgânica restante, a matéria inorgânica remanescente no resíduo permanecerá por um tempo mais longo no aterro, até a sua total decomposição. Este tempo irá variar de acordo com a composição deste material de origem inorgânica.

A imprevisibilidade relativa ao tempo de duração dos cuidados pós-fechamento de um aterro, e de seus passivos ambientais, é algo cada vez mais questionado no momento de decidir quanto a construção e a operação de um novo aterro. Cada vez mais o período obrigatório de cuidados pós-fechamento dos aterros é estendido pela legislação, mostrando o aumento da preocupação com os cuidados pós-fechamento nas tomadas de decisões dos empreendimentos atuais. Novos estudos indicam que este período de cuidados pós-fechamento pode chegar a 100 anos (ECOLOG, 2010).

2.1.1. CONSTRUÇÃO E OPERAÇAO DE UM ATERRO SANITÁRIO

A construção de novos aterros sanitários exige atualmente, para a devida proteção ambiental, a utilização de técnicas e tecnologias avançadas na área de engenharia e de geologia. As diferentes tecnologias e equipamentos utilizados durante a construção de um aterro sanitário visam mitigar os principais impactos ambientais oriundos da atividade de disposição dos resíduos sólidos urbanos. A figura 2.1.1.1. apresenta o esquema de um de aterro, mostrando três diferentes momentos de sua operação, que coexistem: a preparação, a execução e a etapa já concluída. Ainda na figura 2.1.1.1., é possível visualizar alguns dos componentes que compõem um aterro, como os drenos de gás e chorume, as camadas de impermeabilização etc. Cada um desses elementos será apresentado em detalhes a seguir.

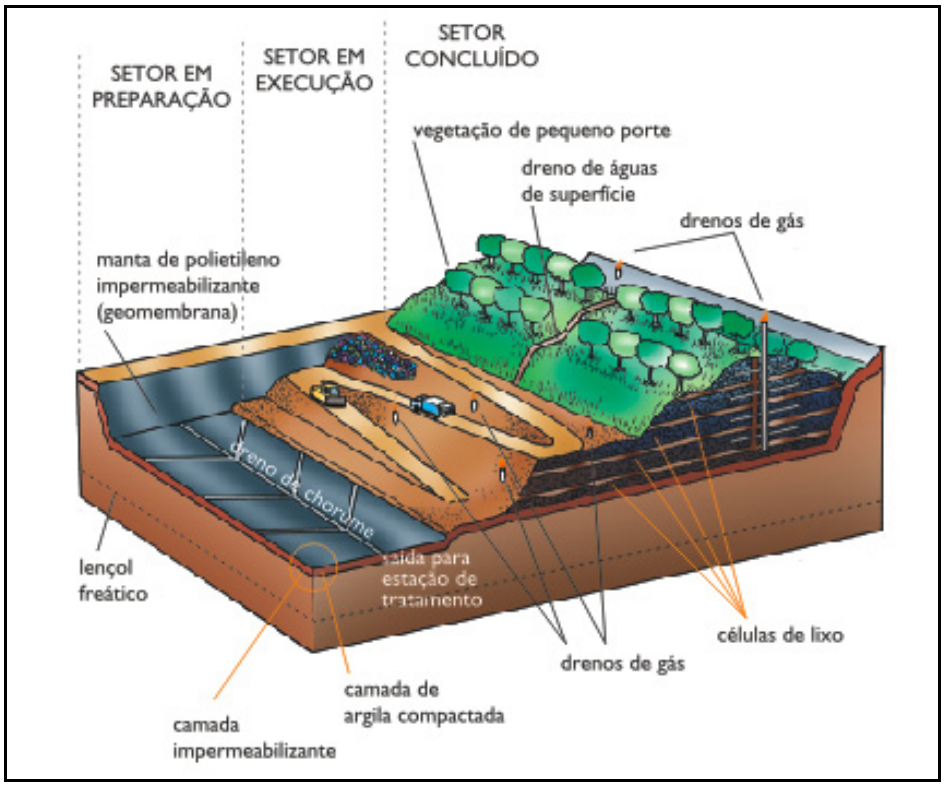

Figura 2.1.1.1. - Esquema de um aterro sanitário. **Fonte:** Disponível em http://www.urbam.com.br/portal/php/hora-e-agora.php. Acesso em 06 de Agosto de 2010.

Os principais componentes que constituem um aterro sanitário são listados e detalhados a seguir:

I - Camada de impermeabilização inferior[1]

[1] **Fonte:** O atual subitem foi escrito a partir de dados de SANTEC, 2010.

A impermeabilização de fundo no local de deposição dos RSU tem como objetivo evitar ou diminuir a possibilidade de qualquer contaminação, tanto dos solos abaixo e no entorno do aterro, como dos aqüíferos existentes nas suas proximidades. Pela figura 2.1.1.2. é possível ver cada componente da camada de impermeabilização inferior.

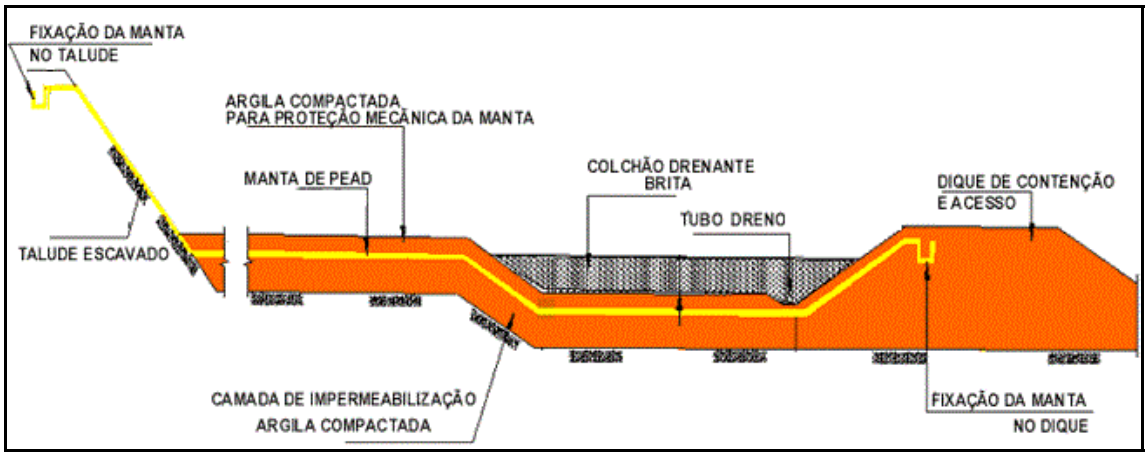

Figura 2.1.1.2. - Corte transversal da base de um aterro sanitário com todos os detalhes da construção da camada de impermeabilização inferior. **Fonte:** SANTEC, 2010.

De acordo com a figura 2.1.1.2., a primeira camada colocada é de argila compactada de baixa permeabilidade na base do terreno. Após esta camada é feita a instalação de uma camada de uma manta impermeável de um polímero plástico, o Polietileno de Alta Densidade (PEAD), que irá garantir a impermeabilização total do solo. A camada de PEAD está representada pela linha amarela na figura 2.1.1.2.. Sobre a camada de PEAD, uma nova camada de argila compactada de baixa permeabilidade é aplicada, antes da deposição dos resíduos, para proteger mecanicamente a manta de PEAD dos resíduos depositados e das máquinas em operação.

II - Sistema de coleta do chorume[2]

Os principais objetivos da instalação de um sistema para coleta de chorume são: impedir que o chorume atinja o lençol freático; diminuir as chances de formação de bolsões de chorume dentro das células, o que aumentaria a instabilidade do aterro; e permitir o encaminhamento do chorume para tratamento adequado na estação de tratamento de chorume.

Para o escoamento e captação do chorume dentro das células do aterro são instaladas, logo acima da camada de impermeabilização inferior, na parte mais baixa

[2] **Fonte:** O atual subitem foi escrito a partir de dados de SANTEC, 2010.

da célula, uma camada chamada de colchão de drenagem, que é formado basicamente por brita, que permitirá o escoamento do percolado produzido durante a decomposição anaeróbia dos resíduos orgânicos. A cada nova camada de resíduo que é depositada adiciona-se uma camada de brita para formar um novo colchão de drenagem, que se interligam entre si e levam o chorume para o sistema de tratamento de chorume.

Para o escoamento final do chorume dentro das células do aterro são instalados tubos de concreto em trincheiras para uma melhor captação do percolado, com furos para a entrada do chorume, que irão conduzi-lo para a parte externa do maciço do aterro até a sua estação de tratamento.

III - Sistema de captação dos gases de aterro

O principal objetivo para a instalação de um sistema de captação dos gases do aterro, formados no processo de decomposição, é o de evitar a formação de bolsões de gases dentro do maciço do aterro, que comprometem a sua estabilidade geológica. A captação desses gases permitirá também que eles sejam tratados adequadamente, ao invés de serem lançados diretamente na atmosfera.

Sabendo-se que o gás de aterro, ou biogás, é composto basicamente por aproximadamente 50% de gás metano (CH_4) e 50% de dióxido de carbono (CO_2), com traços de alguns outros gases (EIA, 1996), a sua captação visa a queima em flares de todo o metano captado, já que este é um gás de efeito estufa com um grande potencial de aquecimento global (GWP), cerca de 21 vezes mais potente do que o dióxido de carbono para o período de 100 anos (IPCC, 2007). A reação de combustão do metano captado converte o gás em dióxido de carbono, reduzindo a emissão de CO_2eq para a atmosfera quando este seria emitido diretamente na forma de metano, possibilitando assim a produção de créditos de carbono. Além disto, esta queima também contribui para a segurança das operações no aterro, pois o metano pode explodir quando misturado ao ar em concentrações acima de 5% (WINCONSIN, 2000).

À medida que as camadas de resíduos forem formando as células, é feita a construção de drenos internos horizontais e verticais, os quais são interligados entre si para a drenagem dos gases gerados na decomposição da matéria. A figura 2.1.1.3. mostra um perfil do solo com os drenos internos para captação dos gases da decomposição. Na figura é possível ver com mais detalhes o dreno vertical, que possui

uma camada de brita ao redor dos tubos para coletar o gás, e uma tela metálica que atua facilitando a captação e reduzindo possíveis entupimentos pelos resíduos depositados no aterro, criando assim uma via de escape para o biogás (CONDER, 2009).

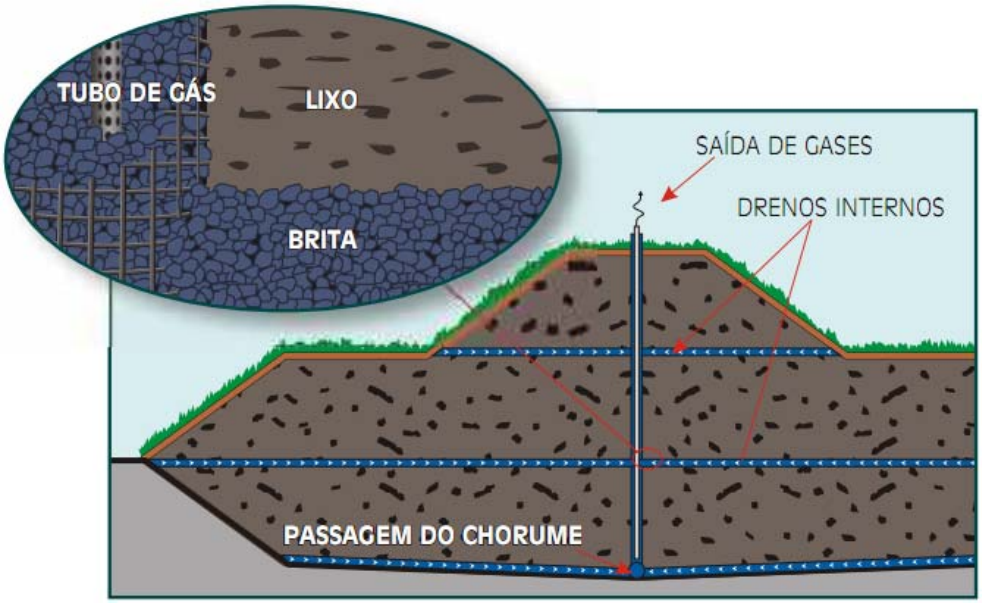

Figura 2.1.1.3. - Sistema para captação de chorume e gases da decomposição.
Fonte: CONDER (2009).

Os drenos verticais se conectam aos drenos horizontais instalados entre todas as camadas de resíduos das células, possibilitando a saída adequada dos gases para a parte superior da célula do aterro, e o escoamento do chorume para a parte inferior interna da célula do aterro, que em seguida será coletado.

IV - Camada de impermeabilização superior

A camada de impermeabilização superior tem como principal função evitar a exposição dos resíduos e também a sua reação de decomposição com a atmosfera, evitando a proliferação de insetos e outros animais que são vetores de diversas doenças. Ela impede também a total liberação para a atmosfera do biogás produzido durante a decomposição, permitindo que este seja captado e tratado. Durante a ocorrência de precipitações pluviométricas na região do aterro, sua função é evitar a entrada de água e umidade em excesso para dentro das células do aterro, reduzindo a quantidade produzida de chorume no aterro.

Existem dois tipos de cobertura superior. Elas são aplicadas em ocasiões distintas da operação no aterro. A primeira é feita diariamente, após o fim das operações diárias do aterro. A segunda é a cobertura final definitiva que é aplicada quando o aterro

atingiu, naquele local, a sua capacidade total e não irá mais receber resíduos. A cobertura diária é mais simples e, como já diz o seu nome, é a realizada diariamente com camadas de argila a fim de evitar e reduzir vetores como ratos, insetos, aves, e que os resíduos se espalhem na ocorrência de fortes chuvas e ventos. A cobertura final é feita quando esgotada toda a capacidade vertical de depósito de resíduo em determinado ponto, ou região, do aterro. Esta cobertura se constitui, da base para cima, de uma camada bem mais espessa de argila de baixa permeabilidade, de uma manta impermeável de PEAD de 2 mm de espessura que, após o recobrimento com solo, deverá ser plantada grama e espécies nativas nos taludes definitivos e platôs para que sirva de proteção extra contra erosão (CONDER, 2009). A figura 2.1.1.4. mostra um esquema com os 2 tipos de coberturas superiores.

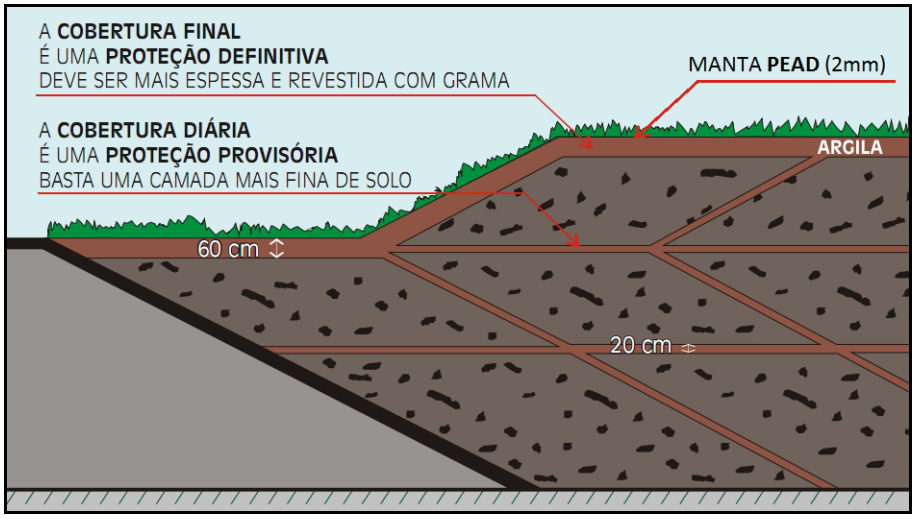

Figura 2.1.1.4. - Coberturas de solo realizadas em um aterro sanitário. **Fonte:** CONDER (2009).

V - Estação para tratamento do chorume

A estação de tratamento de chorume tem como principal função atenuar ou anular os impactos ambientais que poderiam ser causados pelo chorume se disposto diretamente no ambiente. O chorume é um dos produtos gerados a partir da decomposição orgânica dos resíduos, um percolado altamente tóxico e com elevado potencial poluidor. De um aterro para outro, como de um período para outro do ano, a quantidade e a qualidade do chorume variam bastante devido a fatores como: a composição do lixo; a quantidade de resíduos dispostos; a forma de disposição (grau de compactação, cobertura, etc); índices de precipitação/evapotranspiração; extensão da área ocupada pelos resíduos (CONDER, 2009).

Uma vez formado o chorume dentro do maciço do aterro, esse deve ser drenado e conduzido para um sistema de tratamento antes de ser lançado em um corpo d'água. Para a operação do sistema de tratamento de chorume é necessário efetuar, de forma sistemática, a medição da vazão do chorume gerado, bem como determinar a sua composição antes e depois do seu tratamento.

As técnicas que se aplicam no tratamento do chorume se assemelham com as utilizadas no tratamento de esgotos: lagoas anaeróbias, facultativas, reatores, digestores, etc. Para o aterro sanitário, utiliza-se com mais freqüência as lagoas anaeróbias e facultativas, onde ocorre a remoção da carga orgânica do chorume pela ação de microorganismos, as bactérias. Após o tempo em que fica retido na lagoa (tempo de detenção) o líquido deve estar em condições de ser lançado nos corpos d'água, diminuindo drasticamente o seu potencial de poluição.

As lagoas anaeróbias e facultativas são amplamente utilizadas nos aterros sanitários para o tratamento do chorume, pois demandam menos tecnologia e dependendo do número de etapas e processos pelo qual o chorume passa, possibilita que o nível de pureza no efluente tratado seja altamente variável. Porém, já existem aterros sanitários que realizam o tratamento do chorume através de uma tecnologia mais avançada, combinando a osmose reversa a um sistema de tratamento mecânico biológico MBR (Mechanical Biological Reactor).

VI - Sistema de monitoramento de águas superficiais e lençóis freáticos

O sistema de monitoramento das águas superficiais e do lençol freático visa a manutenção da qualidade dos corpos hídricos que estão sob a área de influência do aterro. Este sistema irá garantir que durante o período de operação, e também após o seu fechamento, seja possível realizar o monitoramento da qualidade das águas de todos os córregos ao redor do aterro e também do lençol freático que estiver sob o aterro.

Este monitoramento é realizado periodicamente e as amostras de água coletada são enviadas para laboratórios de análise para a quantificação de diferentes tipos de poluentes. As amostras são coletadas nos poços de coletas que foram previamente construídos durante a preparação do aterro para o recebimento dos resíduos. Dessas amostras devem ser analisados diferentes parâmetros como: pH, Condutividade, Demanda bioquímica de oxigênio (DBO), NO_3, coliformes fecais, procurando atender às exigências do órgão licenciador (CONDER, 2009).

VII - Sistema de drenagem de águas pluviais

A grande importância da implantação de um sistema de drenagem das águas das chuvas em um aterro é permitir o escoamento adequado deste grande volume de água que, caso não fosse devidamente escoado, infiltraria nas células do aterro, e aumentaria a produção de chorume, aumentando também a instabilidade do maciço de resíduos devido à grande quantidade de água retida.

As drenagens superficiais, previstas nos patamares (canaletas e caixas de drenagem) e nos taludes (descida de água), são instaladas ao final de cada camada da célula. As águas de chuva coletadas dentro do aterro devem ser drenadas diretamente para os cursos d'água, a fim de evitar ao máximo o seu contato com o chorume.

Caso a drenagem interna e a impermeabilização da base sejam mal feitas, aumentarão as chances de contaminação do solo e das águas subterrâneas independentemente da presença do sistema de drenagem superficial (CONDER, 2009).

VIII - Rotina operacional

Além dos componentes acima descritos, todo aterro sanitário deve possuir uma rotina para a sua operação. Essa rotina se inicia com a recepção dos resíduos na entrada do aterro. No processo de recepção acontecem as seguintes etapas:

- Identificação/recepção de caminhões previamente cadastrados;
- Identificação dos transportadores;
- Registro e identificação da procedência do resíduo;
- Pesagem e registro da operação de descarga

Durante o processo de pesagem na balança, é feito o controle da origem, da qualidade e da quantidade dos resíduos a serem dispostos no aterro. Estes dados devem ser preenchidos corretamente em um formulário de pesagem diária dos veículos.

A deposição dos resíduos no inicio da operação do aterro ocorrerá sobre o fundo da célula. Esta célula já deve estar previamente preparada para receber este resíduo. No caso da utilização da manta sintética (PEAD), deve cuidar-se para que não ocorra o seu rompimento durante as primeiras operações de deposição.

A deposição deste resíduo deve ser feita mediante a presença de um responsável, para o controle do tipo de resíduo. Além disto, ela deve ocorrer no sopé do talude, limitando-se a menor área possível, como mostra a figura 2.1.1.5.

Figura 2.1.1.5 - Forma apropriada de deposição dos resíduos dentro da célula. **Fonte**: CONDER (2009).

Após a deposição, estes resíduos deverão ser espalhados e compactados corretamente. É interessante que durante o espalhamento deste resíduo na rampa se obedeça a uma proporção de 1:3 (vertical:horizontal), como mostra a figura 2.1.1.6., possibilitando uma deposição segura.

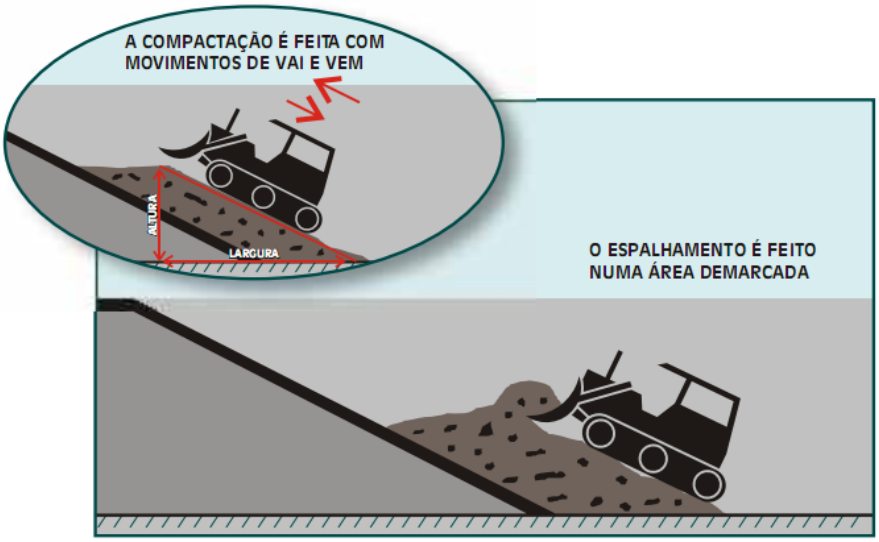

Figura 2.1.1.6. - Espalhamento e compactação dos resíduos na célula. **Fonte:** CONDER (2009).

Durante a rotina operacional do aterro é realizado o monitoramento dos resíduos que entram, através de amostragens de quartis para caracterização e determinação da proporção dos tipos de resíduos presentes, e também o monitoramento do sistema de exaustão e drenagem dos gases. À medida que o resíduo vai se decompondo, ocorre a formação de gases que somente emergirão após algumas semanas do processo de deposição. A liberação deste gás do lixo, ou biogás, persistirá por pelo menos 20

anos após o fechamento do aterro, sendo necessário o seu monitoramento durante este período (MENDES, 2005). Durante este período pós-fechamento deve se verificar se a queima do biogás está acontecendo, através de inspeção visual periódica (no caso de utilização de flares); e se está no momento de substituir os drenos quando apresentarem tendência para o rompimento por excesso de temperatura, ou desmoronamento por recalque do terreno.

2.1.2. O APROVEITAMENTO ENERGÉTICO NOS ATERROS SANITÁRIOS[3]

O gás de aterro, como dito anteriormente, possui alto teor de metano (CH_4) em sua composição. Em alguns aterros, dependendo da composição dos resíduos, essa quantidade de metano ultrapassa os 50% (EIA, 1996). O metano, por ser um gás de amplo uso energético, pode ser utilizado tanto em um motor comum de combustão interna, que irá ativar um gerador de energia elétrica, como pode ser utilizado para outros fins de caráter energético.

Suas aplicações são amplas, destacando-se a produção de vapor para processos industriais, a secagem de grãos em propriedades rurais, a secagem de lodo em estações de tratamento de esgoto, a queima em caldeiras, o aquecimento de granjas, a iluminação a gás, o tratamento de chorume, entre outros.

Há diferentes alternativas para viabilizar a utilização dos gases produzidos em um aterro sanitário. A figura 2.1.2.1. apresenta uma síntese dessas soluções.

[3] **Fonte:** O presente capítulo baseou-se principalmente em ICLEI, 2009.

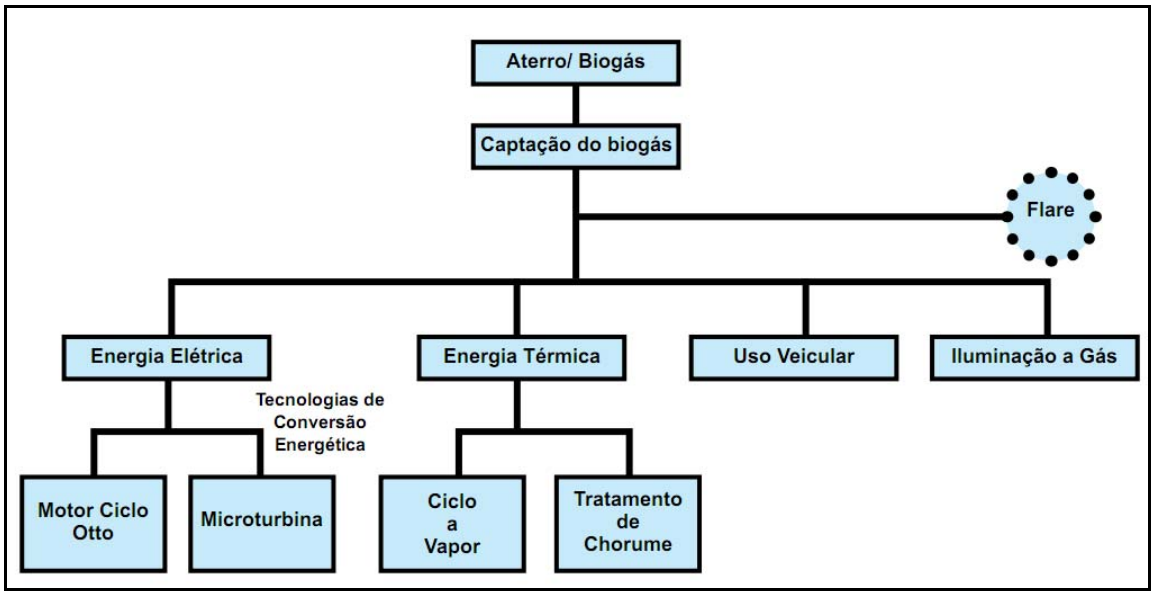

Figura 2.1.2.1. - Diagrama com as alternativas de aproveitamento do biogás. **Fonte:** Instituto Agir Sustentável *apud* ICLEI, 2009.

De acordo com a figura 2.1.2.1., após captado o biogás poderá ser utilizado para 4 propósitos diferentes, a geração de energia elétrica, a geração de energia térmica, o uso em veículos, ou até para iluminação. Em alguns casos este gás não é aproveitado energeticamente e é apenas queimado em um flare.

Qualquer que venha a ser o uso energético dado ao biogás, o mais importante para o sucesso de qualquer projeto de aproveitamento é um bom sistema de extração e de tratamento do biogás. Este sistema irá determinará a quantidade e a qualidade do combustível que será recuperado destes gases. A seguir será descrito este sistema e também as opções de recuperação de energia apresentadas na figura 2.1.2.1.

I - <u>Sistema para extração e tratamento do gás do aterro</u>

O sistema de extração deverá ser composto basicamente pelos drenos verticais e horizontais, os sopradores, os filtros para a remoção do material particulado e de tanques separadores do condensado. Este pré-tratamento é feito para remover o particulado e os líquidos presentes no biogás, protegendo os sopradores e aumentando a vida útil dos mesmos.

No Brasil, os drenos verticais existentes na maioria dos aterros sanitários que apresentarem uma boa vazão de biogás, podem ser adaptados e integrados ao sistema de captação do biogás. Esta adaptação consiste na impermeabilização da parte superior dos drenos, a instalação de um cabeçote, e a interligação ao sistema de

coleta. As figuras 2.1.2.2.(a) e (b) mostram um dreno antes, e outro depois de uma adaptação para um sistema de coleta.

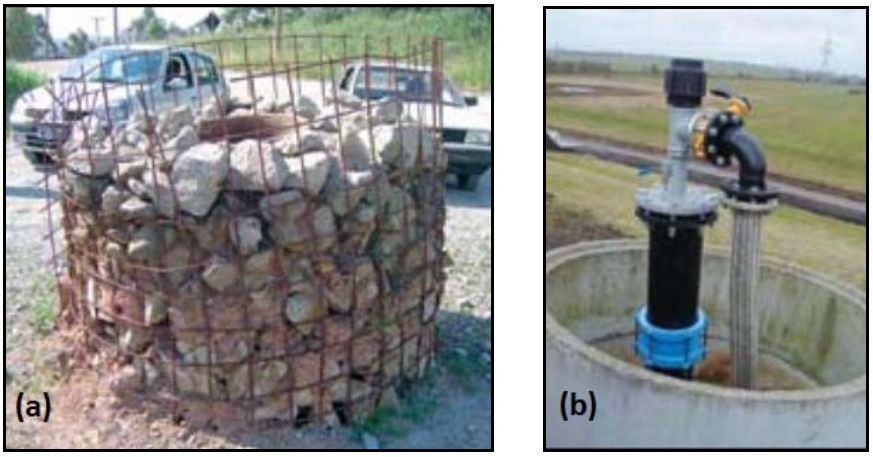

Figura 2.1.2.2. - (a) Dreno típico de biogás de um aterro sanitário, que pode ser adaptado e inserido no sistema de captação de biogás. (b) Cabeçote de adaptação de dreno existente, modelo utilizado na Europa e USA. **Fonte**: ICLEI, 2009.

As tubulações provenientes dos drenos são interligadas em pontos de regularização de fluxo, e estes são interligados a uma linha principal que conduz o gás para a queima em um flare e/ou para seu aproveitamento energético. A força que move o biogás em um fluxo em direção ao sistema de queima é a pressão negativa criada por um soprador que faz a sucção, e que está ligado à linha principal.

Há também um sistema para manter a vazão do biogás constante, neste sistema a vazão do biogás é controlada positivamente por uma válvula borboleta e negativamente por um inversor de freqüência acoplado ao motor soprador, o qual é instalado através de um transmissor de pressão na linha de sucção.

Na mesma linha normalmente é instalado um termômetro para indicar a temperatura do gás no interior da tubulação. O biogás uma vez captado irá passar pela sua primeira etapa de tratamento, a retirada do material particulado através de passagem por um filtro. Após a passagem pelo filtro, o biogás é encaminhado a um tanque separador de líquidos, denominado desumidificador.

O sistema de desumidificação mais utilizado é o demister, que têm a finalidade de retirar eventuais gotículas de líquidos contidos no biogás, reduzindo seu aporte para os sopradores do sistema de extração de gases. A figura 2.1.2.3. mostra em detalhe um desumificador e seu funcionamento.

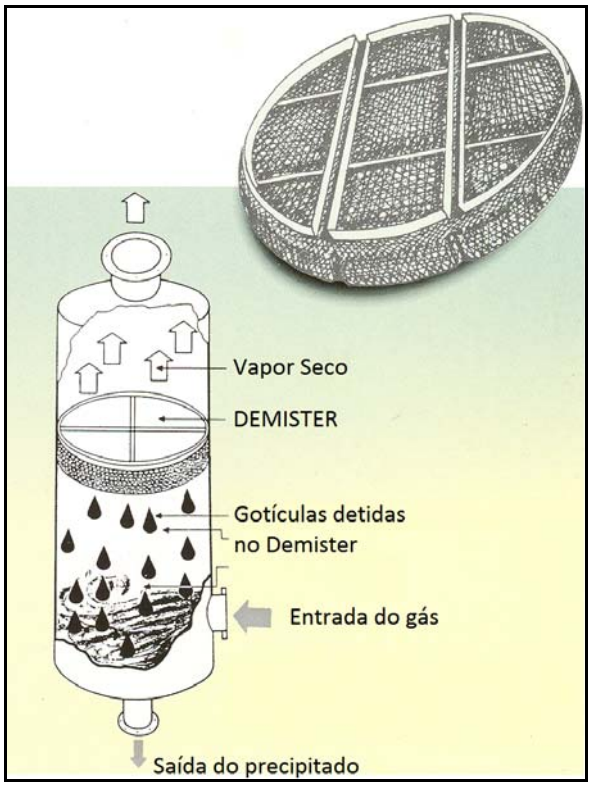

Figura 2.1.2.3. - Esquema do desumidificador Demister.
Fonte: NICHO, 2004.

O princípio de funcionamento do desumidificador consiste em reduzir significativamente a velocidade do fluído nos separadores, permitindo a formação de gotículas que se acumularão na parte inferior do tanque. Esta fase líquida é drenada para um tanque de coleta de condensado através da gravidade e deste é bombeado para o sistema de coleta de chorume para ser tratado com o chorume. O biogás, uma vez isento de partículas sólidas e de gotículas líquidas, passa pelo soprador e é encaminhado para a queima controlada no flare e/ou para outros sistemas de aproveitamento energético.

De acordo com ICLEI (2009), o gás extraído do aterro é um gás 100% saturado, o que em outras palavras significa que este gás encontra-se no seu limite para condensação, no caso específico do biogás. cada m^3 contém aproximadamente de 60 a 100 ml de condensado. Na saída dos drenos do biogás a temperatura do gás estará entre 40°C e 50°C. O resfriamento que ocorre ao longo da tubulação instalada sobre o aterro gera um condensado em grande quantidade (por exemplo, a redução da temperatura de 50° para 25°C gera cerca de 60 g de condensado por m^3). Por isso, toda a tubulação do sistema deve ser instalada com um caimento mínimo de 3% para que o líquido condensado possa ser direcionado até os pontos mais baixo do sistema. A fim de

evitar entupimentos dos tubos e a perda de vácuo nas linhas, devem ser previstos drenos com sifões para permitir que o condensando seja retirado das linhas.

II - Geração de Energia Elétrica

Para a geração de energia elétrica a partir do biogás são utilizados dispositivos que em uma primeira etapa convertem a energia química presente no combustível, o metano, em energia cinética de rotação, através dos motores. O motor se conecta a um gerador, que transforma esta energia cinética de rotação em energia elétrica. Qualquer que seja o dispositivo que converta a energia química do metano em energia cinética de rotação, este deverá estar conectado a um gerador para a produção da energia elétrica. A seguir serão descritos alguns destes dispositivos de conversão:

- Motores de Ciclo Otto: é o equipamento mais utilizado na queima do biogás devido ao maior rendimento elétrico e o menor custo de operação quando comparado com outras tecnologias, inclusive por se tratar do motor de combustão interna mais comum. Para promover a queima de biogás em motores ciclo Otto são necessárias pequenas modificações nos sistemas de alimentação, ignição e na taxa de compressão do motor. O funcionamento deste tipo de motor foi descrito em detalhes por PEREIRA (2006). Uma grande vantagem deste tipo de dispositivo é o baixo custo de instalação e manutenção, pois trata-se de uma tecnologia muito difundida e utilizada em todo o mundo, e que além disso possui uma cadeia produtiva completa no Brasil.

- Microturbina a gás: as microturbinas evoluíram das turbinas utilizadas na indústria aeroespacial e automotiva para serem utilizadas em sistemas elétricos de potência, apresentando diversas inovações tecnológicas, como o uso de mancais a ar, de ligas metálicas e cerâmicas resistentes a altas temperaturas e de componentes eletrônicos de alta potência. Suas principais vantagens são: baixo nível de ruído e vibração; flexibilidade de utilização de combustível, dentre ele o biogás; possui dimensões reduzidas e instalação simplificada, podendo ser instalado inclusive ao ar livre; possui baixa emissão de NOx; e podem ter uma alta eficiência energética quando em instalações de cogeração, chegando até 80% (HAMILTON, 2003 *apud* ICLEI, 2009). Suas desvantagens são: alto investimento incial por se tratar de uma tecnologia toda importada; possui baixo rendimento energético, de aproximadamente 28%; possui alto custo de operação e manutenção do equipamento; maior demanda tecnológica para a limpeza do biogás a ser queimado e de ajustes na turbina para queimar um gás com baixo poder calorífico.

III - Geração de Energia Térmica

Outra forma de recuperar a energia presente no biogás, além da geração de energia elétrica, é a utilização do biogás para a produção de energia térmica. A figura 2.1.2.4. apresenta algumas alternativas para a recuperação energética do biogás.

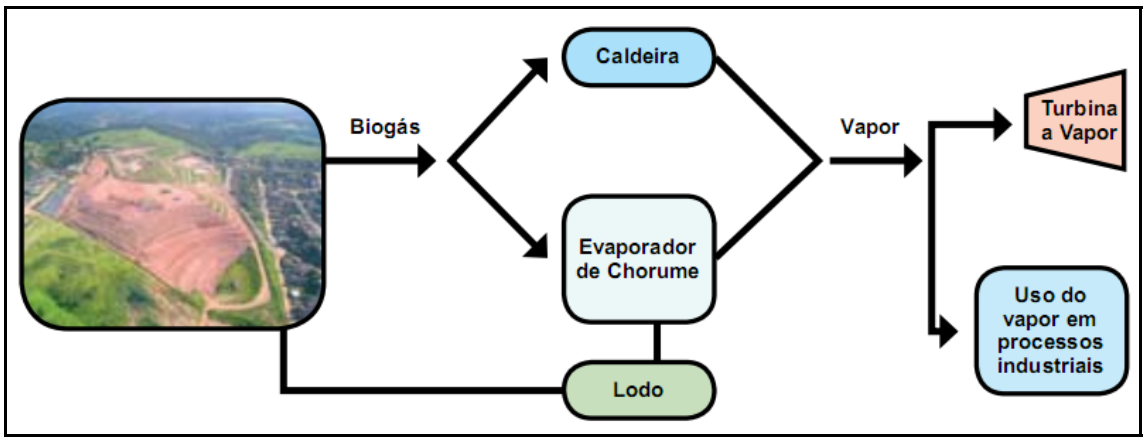

Figura 2.1.2.4. - Alternativas para a recuperação de energia térmica do biogás. **Fonte:** Instituto Agir Sustentável *apud* ICLEI, 2009.

Na geração de energia térmica, qualquer que seja a tecnologia utilizada, a meta final é a produção de vapor d'água em altas temperaturas que poderá ser utilizado para diversas finalidades, tanto em processos industriais que demandem vapor, como para girar turbinas a vapor para a produção de energia elétrica. Considerando o caso dos aterros sanitários, podemos obter o vapor da queima do biogás através de basicamente 2 formas: através de uma caldeira, utilizando o ciclo a vapor Rankine, ou através de um sistema de evaporação do chorume.

- Caldeira: a caldeira utilizará o biogás como combustível para a produção de vapor, este por sua vez poderá ser utilizado em processos industriais, ou para o aquecimento de residências, ou até para geração de energia elétrica, através do acionamento de uma turbina. Para a produção de energia elétrica, com ou sem a cogeração de vapor para outros fins, o vapor percorrerá um ciclo fechado que é conhecido pelo nome de ciclo Rankine. Neste ciclo, o vapor que irá girar a turbina do grupo gerador irá retornar à caldeira com o auxílio de bombas de sucção, passando antes disso passa por um condensador para retornar ao estado líquido. O vapor gerado pela caldeira, quando submetido ao Ciclo Rankine, possibilita a produção de energia elétrica com a cogeração de energia térmica, aumentando a eficiência energética do processo. A figura 2.1.2.5. ilustra de forma simplificada este ciclo.

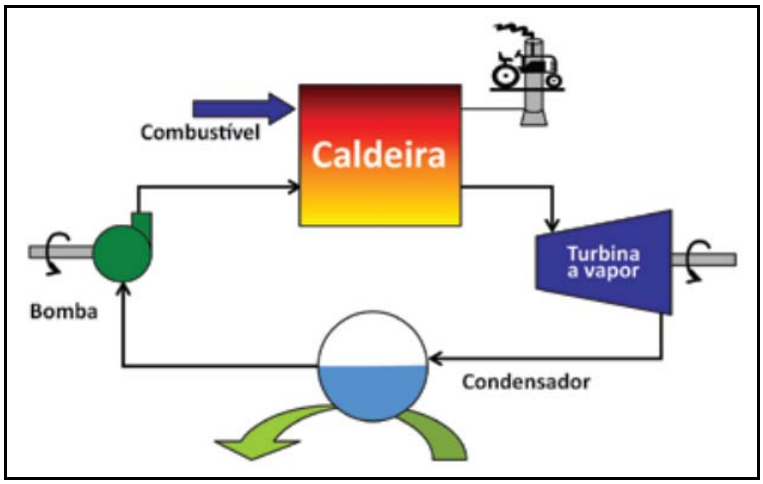

Figura 2.1.2.5. - Esquema do Ciclo Rankine. Fonte: HIRANI, MANAMI, 2007.

Umas das limitações na produção da energia térmica é que as unidades cogeradoras devem estar próximas às instalações que utilizarão esta energia, pois, diferentemente da energia elétrica, o vapor não pode ser facilmente transportado por grandes distâncias devido às perdas energéticas durante o seu trajeto. Para controlar a umidade presente no biogás são utilizados purgadores e linhas de condensado, que assim impedem possíveis danos aos equipamentos e problemas na operação das caldeiras.

- Evaporadores de Chorume: um dos sistemas mais utilizado para o tratamento do chorume é o processo de evaporação. Neste processo ocorre a redução de aproximadamente 70% do volume inicial do lixiviado tratado. O tratamento é realizado em um equipamento denominado evaporador. No evaporador, o processo de aquecimento é feito utilizando-se o biogás como combustível. Com o calor da queima do combustível a fração líquida é evaporada, concentrando o teor de sólidos do chorume. O vapor então passa por sistemas de purificação para que possa ser lançado à atmosfera, ou então, é utilizado como fonte de energia térmica. O lodo mais denso, produto do processo de evaporação, retornará ao aterro para ser disposto normalmente como os outros resíduos. Esta técnica de tratamento é utilizada atualmente em diversos países pelo mundo como os EUA, países da Europa, e inclusive no Brasil (BAHÉ et. al., 2007 *apud* ICLEI, 2009). As principais vantagens desta técnica de tratamento do chorume são: a utilização do biogás como combustível sem a necessidade de adaptação dos equipamentos para a queima, reduzindo o uso de combustíveis fósseis; e o tratamento do chorume no próprio local de produção, reduzindo os custos de logística para o seu tratamento.

A seguir são apresentados alguns dos principais aspectos positivos e negativos na utilização dos aterros sanitários para a destinação final dos RSU.

Principais aspectos positivos:

- Quanto à tecnologia: é a forma de destinação final dos RSU que menos demanda tecnologia quando comparada com as outras opções de tratamento, como a incineração, a reciclagem, ou até o tratamento mecânico biológico, no caso dos resíduos orgânicos.

- Quanto ao custo de instalação e operação: é a forma de destinação final dos RSU que possui o menor custo de investimento inicial quando comparada com todas as outras formas de destinação. No caso da instalação do aterro em um país com problema de oferta de terrenos, o custo final poderá aumentar muito, pois os aterros são soluções que demandam grandes espaços físicos para sua instalação. Em relação aos custos operacionais, eles também são bastante reduzidos quando comparados com outras tecnologias.

- Possibilidade de aproveitamento energético e produção de créditos de carbono: nos aterros sanitários os gases produzidos na decomposição dos resíduos, quando devidamente purificados e tratados, podem ser utilizados como fonte de energia para a geração de eletricidade, como fonte de calor na forma de vapor, ou para a geração de ambos, eletricidade e vapor, aumentando ainda mais os benefícios e a receita desta atividade. Quando é realizada a queima destes gases, seja para o aproveitamento energético, ou somente nos flares, o metano presente no biogás deixa de ser liberado na atmosfera, sendo liberado o produto da combustão, o CO_2, com isso ocorre a produção de créditos de carbonos que poderão incorporar a receita do empreendimento, melhorando o viés econômico da atividade para o investidor.

Principais aspectos negativos:

- Necessidade de grande espaço físico: a necessidade de um terreno diversas vezes maior para a destinação dos RSU quando comparada com uma planta de incineração de mesma capacidade de processamento, é um dos grandes desafios atuais na implantação dos aterros sanitários. Se o aterro precisa ser construído em uma região metropolitana este problema se agrava ainda mais devido à ausência natural de grandes espaços e terrenos nestes grandes centros urbanos. Além disto, utilizando o Brasil como exemplo, existem diversas limitações para a escolha do local de implantação de um aterro. Estas limitações englobam, uma distância mínima de

qualquer corpo d'água que passe próximo ao aterro; uma distância mínima do aterro para o centro urbano mais próximo; o terreno não deve estar sujeito a inundações em grandes períodos de tempo etc. Todos estes fatores acabam por dificultar ainda mais e encarecer o processo de escolha e aquisição de um terreno para a construção de um aterro sanitário.

- Impactos ambientais operacionais: os impactos ambientais oriundos da atividade de um aterro sanitário, quando projetado adequadamente, normalmente são reduzidos, porém devido ao comportamento geológico do maciço de resíduos de um aterro não ser estável, o risco de ocorrência de acidentes de deslizamento, acidentes com vazamento do percolado para o solo, ou de acidentes com vazamento dos gases do aterro para atmosfera são moderados, principalmente quando comparamos com os riscos de operação de uma usina fechada de incineração de RSU. Em uma usina de incineração tem-se um controle muito maior dos fatores externos e naturais que agem sobre a atividade, diferentemente dos aterros sanitários.

- Cuidados pós-fechamento e passivos ambientais: os aterros sanitários têm uma grande desvantagem quando comparados com qualquer outra forma de destinação de resíduos. Essa desvantagem vem da necessidade dos diversos cuidados e medidas que devem ser tomadas após o fim das suas atividades. Esses cuidados pós-fechamento incluem o monitoramento das águas dos corpos hídricos sob influência do aterro, o monitoramento do lençol freático abaixo da estrutura do aterro, e a análise da integridade e estabilidade da estrutura geológica que forma o aterro. A empresa responsável pela administração do aterro deve manter estes cuidados com o aterro por um período de 30 a 60 anos após o término das atividades do aterro, aumentando assim ainda mais os custos de operação de um aterro, custos esses que provavelmente não estão sendo levados em consideração durante a concepção do projeto. Cálculos mais recentes indicam que este período de cuidados pós-término poderá se estender por um período próximo de 100 anos após o fechamento (ECOLOG, 2010). Diferentemente de outras formas de destinar os RSU, o terreno inicial onde um dia houve um aterro fica inutilizável para diversos fins devido à sua instabilidade.

- Emissão de gases de efeito estufa: nos aterros, como discutido anteriormente, ocorre a formação do biogás durante a sua operação e também no seu período pós-fechamento. Este gás é formado por aproximadamente 50% de gás metano e 50% de dióxido de carbono (EIA, 1996), os 2 gases que mais aceleram e contribuem para o

efeito estufa. O metano, por ser até 21 vezes mais potente que o dióxido de carbono para contribuir com o efeito estufa quando consideramos um período de 100 anos (IPCC, 2007), é o gás que merece maior atenção, e por melhor que seja o projeto do sistema de captação dos gases gerados e a sua execução, este não costuma ultrapassar 50% de eficiência na captação do biogás, deixando escapar para a atmosfera a outra metade produzida durante a decomposição dos resíduos. Por esta razão, o metano lançado na atmosfera oriundo do tratamento dos RSU contribui em até 13% para as emissões globais do metano (US EPA, 2002 *apud* THEMELIS, N.J.; ULLOA, P.A, 2007).

2.2. A INCINERAÇÃO DOS RSU

A Incineração é um processo para o tratamento dos resíduos que envolve a combustão das substâncias orgânicas presentes na matéria que compõe os resíduos. Durante o processo de incineração o resíduo apresenta uma redução do seu volume, do seu peso, e das suas características periculosas iniciais, através de uma combustão controlada. Considerando os usos atuais dado para o processo de incineração, podemos melhorar ainda mais esta conceituação afirmando que a incineração é considerada também como um processo de reciclagem energética, onde a energia contida nos resíduos, liberada na queima, é um bem que é reaproveitado para outros processos, ou seja, é reciclada.

A incineração de resíduos transforma os resíduos basicamente em três produtos: cinzas, gases da combustão e calor. As cinzas são em sua maioria formadas por constituintes inorgânicos que estavam presentes nos resíduos. Elas podem se aglomerar em nódulos sólidos (*bottom ash*), ou serem carreadas diretamente pelos gases da combustão (*fly ash*). Os gases da combustão necessitam de um tratamento adequado para reduzir a concentração de alguns poluentes gasosos presentes e para reduzir a quantidade de material particulado antes de serem despejados na atmosfera.

Conforme RENOSAM (2006), os incineradores reduzem o volume dos resíduos de 95-98% do volume original, dependendo da composição e do grau de recuperação de materiais, como metais. Isto ratifica que a incineração de resíduos não substitui por completo a utilização de aterros, e sim reduz significativamente o volume a ser disposto nos aterros, aumentando em muito a vida útil dos mesmos.

A utilização da incineração para a recuperação energética dos resíduos é uma tecnologias denominadas *Waste To Energy*[4] (WTE) existentes atualmente. A incineração dos resíduos também pode ser praticada normalmente na sua forma mais simples, sem a recuperação energética, a chamada incineração dedicada. Porém, considerando o crescimento contínuo na busca de novas alternativas para o tratamento dos resíduos sólidos, e da procura por novas fontes de energias renováveis, a utilização da tecnologia *Waste to Energy* (WTE) mostra-se muito promissora, pois trata-se de uma outra forma para a destinação dos resíduos sólidos urbanos, e que ao final do processo obtém-se como produtos energia elétrica e/ou a energia térmica.

Para garantir a qualidade do meio ambiente no processo de incineração, a combustão deve ser continuamente monitorada, pois o combustível utilizado, o resíduo sólido urbano, é um combustível de composição "desconhecida", heterogênio, ou seja, a sua composição varia muito ao longo do tempo, principalmente a sua umidade e o seu poder calorífico. Por isso, os sistemas modernos de incineração de RSUs são dotados de sistemas automatizados de controle contínuo das variáveis de combustão, tanto na câmara primária, quanto na câmara de pós-combustão, além do controle em outras etapas. Estes sistemas corrigem em tempo real os diversos parâmetros da queima, mantendo a combustão regular durante a sua operação.

De acordo com POLLUTIONISSUES (2010), qualquer combustão se caracteriza pelos 3 T's que a compõe, a Temperatura do forno, o Tempo de residência e a Turbulência. As diferentes tecnologias existentes para a incineração se diferem entre si, umas das outras, em um ou mais desses três parâmetros, fazendo com que cada tecnologia de incineração tenha as suas características, incluindo vantagens e desvantagens. As diferentes tecnologias para incineração que serão apresentadas a seguir possuem suas principais diferenças somente na alteração de um ou mais dos 3 T's que compõem um processo de combustão. A temperatura de um forno irá determinar a velocidade de combustão dos compostos orgânicos presentes. O tempo de residência na câmara de combustão permite que algumas reações que destroem compostos poluentes ocorram, os tempos de residências variam de acordo com o tipo de forno e resíduo processado. A turbulência no forno determinará uma mistura mais homogenia

[4] ***Waste to Energy (****WTE)*: é uma denominação genérica para qualquer processo/tratamento dos resíduos e que obtenha energia a partir dos mesmos. A incineração de resíduos com a geração de energia elétrica e/ou energia térmica é uma forma de processamento WTE.

do combustível (resíduo) com o comburente (oxigênio), aumentando a eficiência da reação de combustão.

O primeiro incinerador Waste To Energy (WTE) teve a sua operação iniciada em 1874 em Nottingham, no Reino Unido. Em seguida, no início do século 20, foi observado um "boom" de incineradores de resíduos, especialmente nos Estados Unidos (INTUSER *apud* KNOX, 2005). Estes incineradores tinham pouco ou nenhum sistema de controle de poluição, liberavam cinzas, componentes químicos tóxicos e óxidos nitrosos na atmosfera, com material particulado e cinzas de papéis. Devido aos seus efeitos prejudiciais à saúde, essas plantas de incineração enfrentaram grande oposição nos EUA, porém seus operadores continuavam a queimar resíduos sem levar em consideração a qualidade do ar até 1967, quando nos EUA o *US Clean Air Act* foi aprovado.

Da aprovação do *US Clean Air Act* até o fim da década de 80, duzentos e cinqüenta incineradores WTE foram desativados, a maioria deles em razão dos seus impactos ambientais inaceitáveis. Recentemente, graças ao desenvolvimento de tecnologias de redução da poluição, os incineradores têm sido capazes de alcançar, e até ultrapassar as metas estabelecidas pela legislação ambiental, se transformando em uma forma mais segura para a destinação dos resíduos e, conseqüentemente, para a geração de energia elétrica ou térmica.

Em alguns países, os incineradores construídos há algumas décadas, em sua maioria, não realizavam a separação de materiais perigosos e materiais recicláveis antes da realização da queima. Essas plantas traziam riscos à saúde dos trabalhadores e ao meio ambiente devido ao inadequado controle dos gases emitidos e da ausência de um controle do processo de combustão. Certamente, algumas dessas experiências passadas tornaram evidentes diversos problemas ambientais recorrentes do uso de incineradores, mostrando em qual direção os equipamentos de controle de poluição deveriam evoluir. Atualmente, de acordo com B.DODDS *apud* KNOX, 2005, os incineradores que utilizam a melhor tecnologia disponível para o controle da poluição, ou *Best Available Technology* (BAT), lançam na atmosfera seus gases da combustão tratados que, em alguns casos, são mais limpos que o ar atmosférico das grandes cidades.

O incinerador de resíduos não é apenas um forno isolado, mas sim uma completa instalação industrial contendo todas, ou parte, dos componentes citados a seguir:

- armazenamento e manipulação de resíduos;

- alimentador de resíduos;

- combustão no forno;

- recuperação do calor com produção de vapor e eletricidade (plantas com aproveitamento energético);

- controle da poluição do ar (tratamento dos gases da combustão)

- manipulação dos dejetos (cinzas e águas residuais).

Os principais tipos de fornos utilizados para a incineração de resíduos, inclusive para os resíduos sólidos urbanos, serão apresentados e descritos a seguir:

2.2.1. OS FORNOS DE INCINERAÇÃO

- Forno de Grelha (*Grate Firing*)[5]

Os incineradores de fornos de grelha são, de longe, a tecnologia mais utilizada para a incineração dos resíduos sólidos urbanos em todo o mundo. Este tipo de forno realiza a chamada queima da biomassa com poucos requisitos de pré-processamento, tal como dimensionamento, retalhamento etc. Além disso, é uma tecnologia que possibilita a instalação de plantas em tamanhos variados, plantas que processam desde apenas 50 toneladas/dia, até plantas que processam 2000 toneladas/dia. O fluxo de resíduos recebidos por essas instalações não costuma ser muito consistente (BONTOUX, 1999).

Os fornos *Grate firing* podem queimar uma extensa gama de materiais, permitindo até mesmo a queima de combustíveis com grandes variações do percentual de umidade, mostrando desta forma ter um grande potencial para utilizar os RSU como combustível (GÖERNER K., 2003; MORROW R.S., 2005; SUBRAMANIAN A.K., 2006).

Como o nome já diz, os fornos incineradores do tipo *Grate firing* são fornos nos quais os resíduos são incinerados sobre uma grade. Eles normalmente funcionam com a temperatura do gás interno variando entre 750° C e 1000° C. O ar necessário à combustão é fornecido por ventiladores ou sopradores, vindo por baixo e por cima da grade. Este tipo de forno possui algumas variantes quanto ao funcionamento das grades, o seu design e a forma de conduzir o resíduo pelo forno. As grelhas podem

[5] O presente item baseou-se principalmente no trabalho de YIN C. *et al,* 2008.

ser do tipo fixa, ou do tipo móvel. As grelhas móveis são projetadas para aumentar a mistura e o fluxo de ar na massa de resíduos em queima, a fim de atingir uma combustão mais completa. Essas mudanças no design da grelha resultam em uma diferença significativa nas emissões do incinerador, além de influenciar na quantidade e qualidade das cinzas produzidas. O excesso de ar (próximo a 100%) necessário para a satisfatória combustão dos resíduos nesses fornos traz duas grandes desvantagens para este tipo de forno: (i) a perda da energia com a sua dissipação em um grande volume de gases, (ii) e a necessidade de uma caldeira maior para lidar com os grandes volumes de gases. (BONTOUX, 1999)

Os fornos *Grate firing* foram os primeiros sistemas de combustão utilizados para a queima de combustíveis sólidos. A capacidade de plantas de incineração do tipo *Grate firing* variam de 4 até 300 MW_e quando utilizados em plantas combinadas de energia elétrica e calor (a maioria dos fornos possui capacidade entre 20 e 50 MW_e). A taxa de calor emitido por área de grade pode ser de até 4 MW_{th}/m^2, como resultado de combustíveis de biomassa de alta volatilide e com baixa produção de cinzas (US EPA, 2007).

Os fornos modernos do tipo *Grate firing* são formados basicamente por quatro elementos principais: um sistema de alimentação de combustível, um conjunto de grelhas que formam a base do forno, um sistema de ar secundário e um sistema de descarte de cinzas. A figura 2.2.1.1. mostra um esquema de um forno moderno do tipo *Grate firing*, nos dando uma visão geral do arranjo deste tipo de forno e de seus componentes.

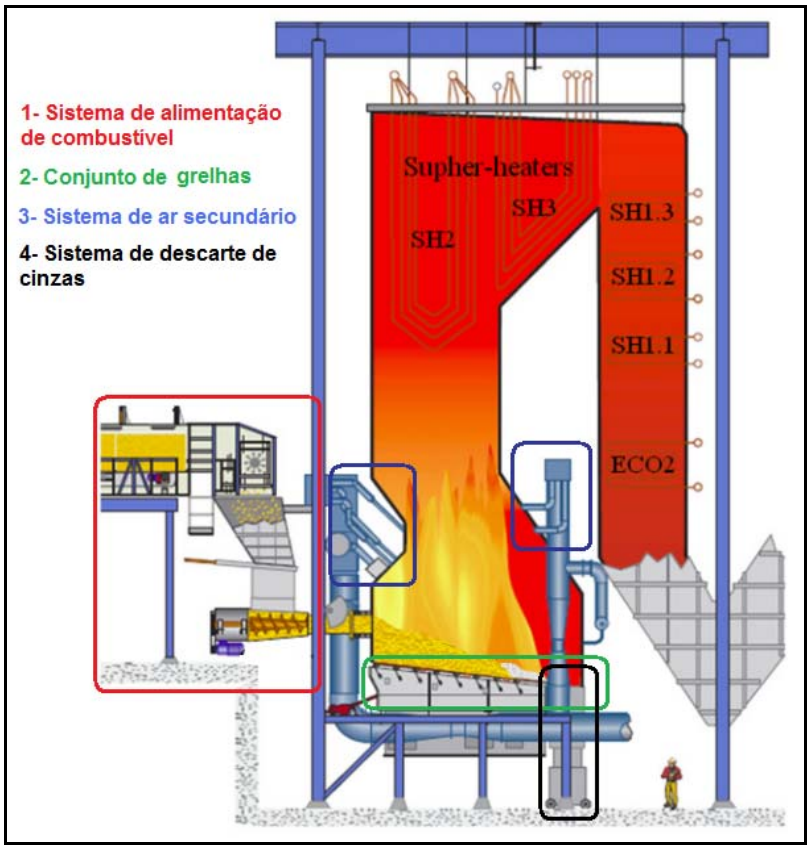

Figura 2.2.1.1. – Esquema simplificado de um forno moderno do tipo *Grate firing,* com os 4 componentes básicos que o constitui destacados por cores. **Fonte:** YIN C. *et al,* 2008.

A seguir, a descrição de cada um desses componentes presentes na figura 2.2.1.1.

1 - Sistema de alimentação de combustível: os típicos sistemas de alimentação de combustível que queimam biomassa são os alimentadores mecânicos. No caso específico da biomassaa, por se tratar de um combustível muito heterogêneo em tamanho e com grande porção formada por pequenas partículas, é necessária a utilização de um espalhador, já que a grelha normalmente é dimensionada para partículas maiores.

2 - Conjunto de grelhas que formam a base do forno: o conjunto de grelhas que formam a base do forno do tipo *Grate firing* possuem duas funções principais, transportar longitudinalmente o combustível dentro do forno e melhor distribuir a entrada do ar primário através da grelha. O conjunto de grelhas pode ser tanto resfriado por ar, como por água. O resfriamento com água irá demandar um menor volume para o resfriamento da grade. Existem diferentes tipos de sistemas de grades para formar a base do forno e para transportar o resíduo através dele. Os quatro diferentes tipos de sistema são: as grelhas estacionárias inclinadas, que não possuem movimento algum, se utilizam apenas da força da gravidade para movimentar o

combustível dentro da câmara de combustão; as grelhas móveis, que através dos seus movimentos transporta de forma contínua o combustível através da câmara de combustão; as grelhas recíprocas, que utilizam movimentos recíprocos, do tipo frente e trás, para movimentar o combustível através da câmara de combustão; e as grelhas vibratórias, que através de movimentos vibratórios espalha e atravessa o combustível através da câmara de combustão. Os três últimos tipos de grelhas de forno descritas possuem um controle melhor da combustão, pois conseguem determinar de forma mais precisa a velocidade e tempo de permanência do combustível dentro da câmara de combustão.

3 - Sistema de ar secundário: é um dos elementos mais importantes para a otimização da combustão dos gases livres dentro do forno, permitindo a completa combustão do combustível e reduzindo as emissões oriundas da incineração. Para isto este tipo de sistema forma zonas de recirculação local, ou fluxos rotativos, formando diversos novos ambientes para a ocorrência da combustão. A instalação e utilização de um sistema de alimentação de ar secundário em antigos fornos do tipo *Grate firing* é a forma mais flexível e simples de se reconfigurar fornos antigos para realizarem uma queima mais completa, para que se reduzam os níveis de emissão.

4 - Sistema de descarte de cinzas: corresponde à região final dentro do forno de queima onde o resíduo (combustível) que já passou pelo interior do forno e foi incinerado de forma eficaz irá se acumular para ser retirado do interior do forno, agora já na forma de cinzas. O sistema de coleta de cinzas habitualmente se localiza ao final das grelhas do forno, recebendo de forma contínua toda cinza oriunda deste processo.

Segundo YIN (2008), os fornos do tipo *Grate Firing* são freqüentemente definidos como “grande produtor de cinzas, com baixa eficiência e com altos níveis de emissão.” Além disto, segundo ele a queima da biomassa pode trazer novos problemas para os sistemas de combustão, como a deposição e corrosão. Assim, este tipo de forno, apesar de possuir suas vantagens operacionais e de custo, têm algumas dificuldades a serem ultrapassadas, principalmente quanto à combustão de biomassa. Uma destas dificuldades é o elevado nível de emissão de poluentes devido a combustão incompleta, aumentando as emissões de CO, hidrocarbonetos, e hidrocarbonetos poliaromáticos (PAH). O alto teor de alguns elementos específicos (Cl, S e metais pesados) presente na biomassa pode agravar a emissão de poluentes, emitindo altas concentrações de HCl, SOx, dioxinas, furanos e metais pesados., A queima de combustível de biomassa com alto teor de Cl em forno to tipo *Grate firing* pode

aumentar também a formação de depósitos e corrosão. A deposição reduz a habilidade de transferência de calor das superfícies do combustor, e desta forma acaba por reduzir a eficiência total do processo. A corrosão irá por outro lado reduzir o tempo de vida útil do equipamento.

- Forno Rotativo (*Rotary Kiln*)[6]

De acordo com YIN (2008), os fornos de incineração de resíduos do tipo *Rotary Kiln* não são tão comuns para a incineração dos resíduos sólidos urbanos como os fornos de grelha (*Grate firing*) e como os fornos de câmara de leito fluidizado (*Fluidized bed combustion*). No Brasil, os fornos rotativos são comumente utilizados no processo de produção do clínquer, que é parte de uma das etapas necessárias à produção do cimento. Além da produção do clínquer, este tipo de forno é utilizado amplamente em outros processos, por outros tipos de indústrias. A indústria metalúrgica utiliza este tipo de forno principalmente para a calcinação do minério de ferro em ferro e aço e também para a produção de alumínio. A indústria química utiliza este tipo de forno principalmente para a produção de ligas metálicas (HENAN, 2010).

Durante o seu funcionamento, os incineradores do tipo *Rotary Kiln* movimentam os resíduos em um forno cilíndrico a fim de otimizar a mistura do combustível com o ar e permitir uma queima mais uniforme. Estes fornos normalmente operam com uma temperatura de gás interna variando de 800°C a 1000°C, e uma câmara de pós-combustão atingindo temperaturas que variam entre 850°C e 1200°C. Gases, líquidos, pastas, sólidos e até alguns materiais que são pouco convencionais podem ser manipulados e processados em grandes quantidades por fornos desse tipo. Apesar de serem em sua grande parte utilizados de forma contínua, ou seja, com um fluxo constante de resíduos entrando no forno, eles também podem ser operados no modo de fornadas. Este tipo de forno permite a utilização de pequenas unidades, possibilitando a sua utilização de forma móvel, realizando o tratamento dos resíduos direto no local de produção dos mesmos, reduzindo o custo de transporte do resíduo a ser tratado (BONTOUX, 1999).

Este tipo de incinerador é utilizado principalmente na incineração de resíduos perigosos, não sendo muito comum para a incineração dos resíduos sólidos urbanos. A figura 2.2.1.2. representa de forma esquemática os principais componentes de um incinerador do tipo *Rotary Kiln*, mostrando desde a parte de armazenamento e alimentação dos resíduos, até seu componente final, a chaminé.

[6] O presente item baseou-se no trabalho de HTTCORP, 2009.

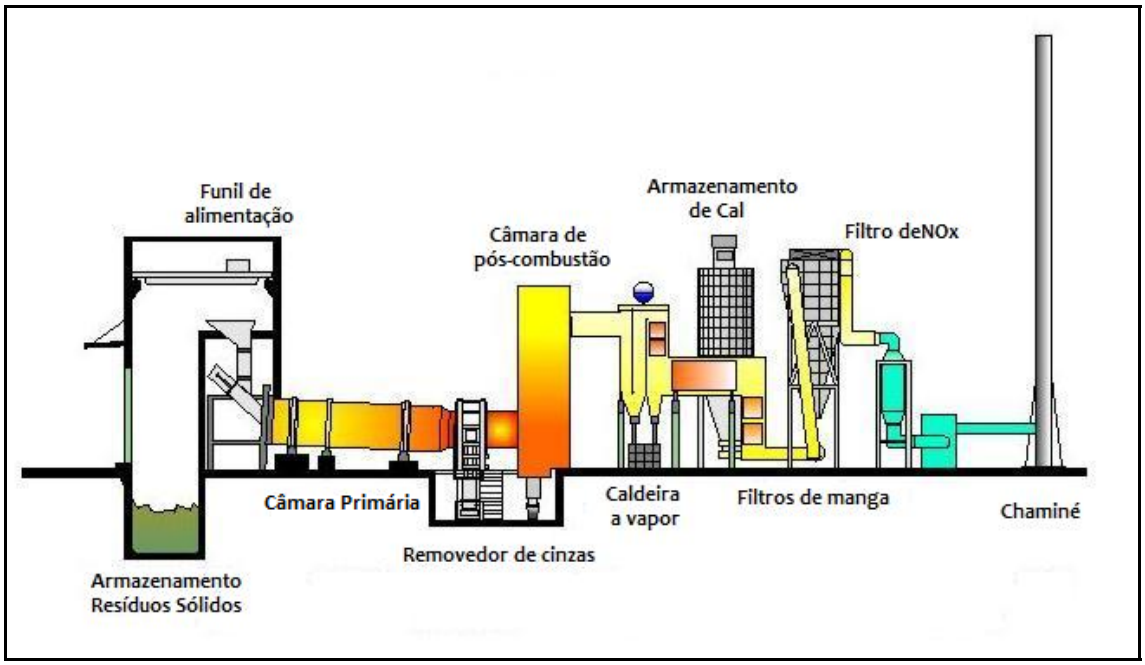

Figura 2.2.1.2. – Esquema de uma planta de incineração *Rotary kiln* e os elementos que a compõe. **Fonte:** SEILER, 2009.

A seguir, a descrição de cada um dos componentes deste tipo de forno, como mostrado na figura 2.2.1.2..

1 - Sistema duplo de alimentação de resíduos: a etapa inicial do tratamento térmico dos resíduos é a sua armazenagem, acompanhado da alimentação do forno com esses resíduos. Uma das formas mais eficientes de realizar esta alimentação é a utilização de um sistema de alimentação duplo, composto por:

- Sistema de alimentação rotatório: nesse sistema os resíduos são levados à câmara de ignição através de uma porta de acesso que transfere os resíduos de forma não contínua, em rodadas (*Rounds*). O material já pré-processado em pequenas partículas deverá ser inserido em um funil rotativo de alimentação que possui um sistema de refrigeração por água do “nariz” que se conecta ao forno. Os sensores de temperatura serão os “limitadores” do sistema de alimentação, mantendo constante a taxa de queima do forno.

- Sistema de injeção de resíduos líquidos: resíduos líquidos com alto valor de calor específico, como os solventes, podem ser injetados na câmara com um vaporizador de ar atomizado. Alguns sistemas incluem também um bico de injeção secundária para serem utilizados como um *backup*, ou seja, a unidade de injeção secundária pode usada quando a primeira estiver sendo reparada.

2 - Câmara primária de combustão: este é o local onde ocorre a combustão inicial do material a ser incinerado. Nesta seção do forno, os materiais contaminados como lama e solo são aquecidos até que os seus contaminantes se neutralizem, e seus vapores químicos sejam destruídos na próxima câmara, a câmara de pós-combustão. A ação do queimador e o uso de um combustível auxiliar normalmente são intermitentes, porém o uso de combustível auxiliar depende muito da composição do material que está sendo incinerado. A câmara primária de combustão consome termicamente o material e, com a ajuda de seu movimento rotatório, entrega continuamente as partes não-combustíveis (incluindo cinzas) a um receptor externo. O movimento de rotação da câmara durante o processo de combustão expõe novas superfícies a serem queimadas, e ao mesmo tempo remove a camada isolante de cinzas que se forma, aumentando a eficiência de queima deste tipo de forno. A espessa camada refratária presente nesses fornos mantém a temperatura pré-estabelecida do forno constante. Essa camada se movimenta abaixo do material em combustão enquanto o ar sobre o fogo mantém a combustão do outro lado. A fumaça, os vapores voláteis e os gases são puxados para a câmara secundária, ou câmara de pós-combustão, uma câmara estacionária onde é adicionado mais ar e um segundo queimador inicia a oxidação térmica final.

Na câmara primária há uma região estacionária com uma porta de inspeção que serve como um local para supervisionar e visualizar a explosão e o queimador, além de possuir um duto de conexão para a próxima câmara, a câmara secundária. A conexão de saída da câmara primária com a câmara de pós-combustão é feita através de bicos de ar conectados a ventiladores de alta pressão com controle de vazão. À medida que a taxa de combustão de materiais aumenta na câmara, é aumentado também a vazão que passa pelos ventiladores, mantendo uma apropriada proporção ar/combustível para a total combustão dos gases e do particulado.

3 - Câmara secundária ou de Pós-combustão: A câmara secundária, ou câmara de pós-combustão, é montada em um segundo módulo, diferente do anterior. Esta câmara opera a temperaturas mais altas que a câmara primária (variando entre 760ºC e 1000ºC), consumindo os gases, a fumaça e o particulado ainda presente no gás da queima. O gás da queima, resultante do processo térmico de redução na câmara primária, é levado a essa câmara de combustão secundária para continuar a ser oxidado. A direção da chama na câmara secundária servirá para garantir uma movimentação turbilhonada dentro da câmara, promovendo uma máxima turbulência e

tempo de residência dos gases incinerados, aumentando a eficácia na combustão dos gases e dos voláteis restantes.

4 - Queimadores: os queimadores do sistema de *Rotary Kiln* são equipados com módulos de queima de gás natural ou de óleos leves, com controle de chamas. Os queimadores são montados na estrutura externa de cada câmara de combustão e são posicionados de forma a assegurar o máximo de turbulência dentro das câmaras. Existem normalmente dois queimadores em um módulo de incineração, um na câmara primária, e o outro na câmara de pós combustão.

5 - Sistema controlador: os controladores são sistemas que monitoram, controlam e armazenam as temperaturas, as taxas de alimentação, as condições dos equipamentos externos e também as condições dos equipamentos de segurança. Os sistemas controladores são designados para permitir uma apropriada e segura operação da unidade, além de prover ao operador opções que ampliam a versatilidade de operação da unidade, podendo controlar através deste sistema o fluxo de queima dos resíduos, a proporção ar/combustível dentro das câmaras etc. O painel de controle que compõe o sistema controlador inclui vários controladores elétricos que garantem uma segura inicialização e pré-aquecimento das câmaras e operação dos fornos.

Durante a operação das câmaras, tanto o limite inferior da temperatura da câmara, como o superior, são controlados por sensores que se interconectam com o mecanismo de alimentação do incinerador. Desta forma é possível garantir a temperatura no interior da câmara através do controle na taxa de queima dos resíduos. Este tipo de forno pode operar no modo “fixo”, ou girar a diferentes velocidades, dependendo do material que esta sendo alimentado no forno. Por medida de segurança, os incineradores *Rotary kiln* devem ser equipados com um controlador de temperatura que irá desligar a alimentação dos resíduos caso as condições de operação não sejam as que foram pré-estabelecidas.

6 - Removedor de cinzas automático: as cinzas produzidas na câmara primária se assentam no fundo da mesma. Com o giro lento e contínuo da câmara, as cinzas e outros compostos não combustíveis são levados para o lado oposto à entrada, onde eles saem através de uma ranhura na borda do forno e caem em um receptor de cinzas. Materiais não-combustíveis e cinzas são continuamente descarregados do sistema. Durante as operações normais, nenhuma cinza é manuseada, prevenindo um potencial risco para a saúde humana.

7 - Sistema de purificação dos gases da combustão: este sistema irá purificar os gases da queima antes de serem lançadas na atmosfera. Os gases que passam por este sistema primeiramente são lavados com a água de lavagem que irá condensar os vapores e umidificar o material particulado presente, assim reduz-se a carga de particulado e também a quantidade de gases voláteis poluentes. A próxima seção, a seção de mistura, acelera o fluxo de gás através de equipamentos como o ciclone e assim maximiza a coleta dos poluentes ainda presentes. Na seção final há um demister, que remove as partículas ultra pequenas e gotículas que ainda estiverem no gás da queima antes dele ser lançado na atmosfera.

- Câmara de combustão fluidizada (*Fluidized bed combustion*)[7]

A câmara de combustão fluidizada (FBC), juntamente com o forno de grelha são os dois tipos de fornos mais utilizados para combustão de biomassa, incluindo a queima dos RSU. Ambos os tipos de forno são amplamente utilizados por possuírem boa flexibilidade quanto ao tipo de combustível utilizado. Além disto, estes tipos de fornos podem ser abastecidos inteiramente por biomassa ou podem utilizar o carvão para ajudar no processo de queima (YIN, 2008).

A combustão neste tipo de forno é realizada através de um processo de fluidização da câmara. Este processo de fluidização se inicia quando uma camada de um material inerte (normalmente areia), que é uma partícula granular sólida, é suspensa por um fluxo de ar ou gás dentro da câmara. Esse fluxo de ar é injetado na câmara pelo fundo e pelos lados da mesma. O aumento da velocidade do fluxo do gás faz com que este fluxo suspenda as partículas inertes presentes na câmara. Neste estágio o combustível (opcional) e o adsorvente (normalmente calcário) já podem começar a ser injetados dentro do forno, e todas as partículas da câmara já se encontram em um "estado líquido", fluidizado (EPI, 2004). Este mesmo ar utilizado para movimentar o "fluido" dentro da câmara também é utilizado como ar de combustão primária. As câmaras fluidizadas, quando utilizadas para a incineração de resíduos urbanos, normalmente operam em uma temperatura entre 750ºC e 1000ºC, mais comumente entre 750ºC e 850ºC, e alcançam alta eficiência de combustão dos resíduos (BONTOUX, 1999).

As câmaras de combustão fluidizadas possuem basicamente duas variantes importantes de funcionamento/tecnologia, as câmaras fluidizadas borbulhantes

[7] Este item foi baseado principalmente no trabalho de KOORNNEEF, 2007.

(*Bubbling Fluidized Bed* – BFB), e as câmaras fluidizadas circulantes (*Circulating Fluidized Bed* – CFB). O design das plantas de câmaras fluidizadas depende principalmente do combustível utilizado e da quantidade de vapor que a instalação produzirá, embora o design da planta também seja influenciado por outros fatores como as restrições de emissões, o fabricante e o local da instalação. As principais diferenças existentes entre as duas principais tecnologias de FBC estão resumidas na tabela 2.2.1.1..

Tabela 2.2.1.1. – Diferenças entre parâmetros de projeto para BFB e CFB.

Parâmetros de Projeto	**BFB** (Bubbling Fluidized Bed)	**CFB** (Circulating Fluidized Bed)
Temperatura de Combustão **(^{o}C)**	760 – 870	800 – 900
Tamanho da partícula do combustível **(mm)**	0 – 50	0 – 25
Velocidade de Fluidização **(m/s)**	1 – 3	3 – 10
Circulação de Sólidos	Não*	Sim
Concentração de Partículas	Alta na base e baixa na parte livre do forno	Gradualmente menor ao longo da altura do forno
Tamanho da partícula de Cal **(mm)**	0,3 – 0,5	0,1 – 0,2

Fonte: KOORNNEF, 2007. *Também ocorre ocasionalmente em BFB, porém não é idealizado no funcionamento do seu projeto como é o caso da CFB.

Na figura 2.2.1.3.. estão representadas as principais partes que compõem uma planta de incineração do tipo *Fluidized bed combustion*, desde os equipamentos de controle de poluição, até seus componentes mais básicos que permitem o seu funcionamento.

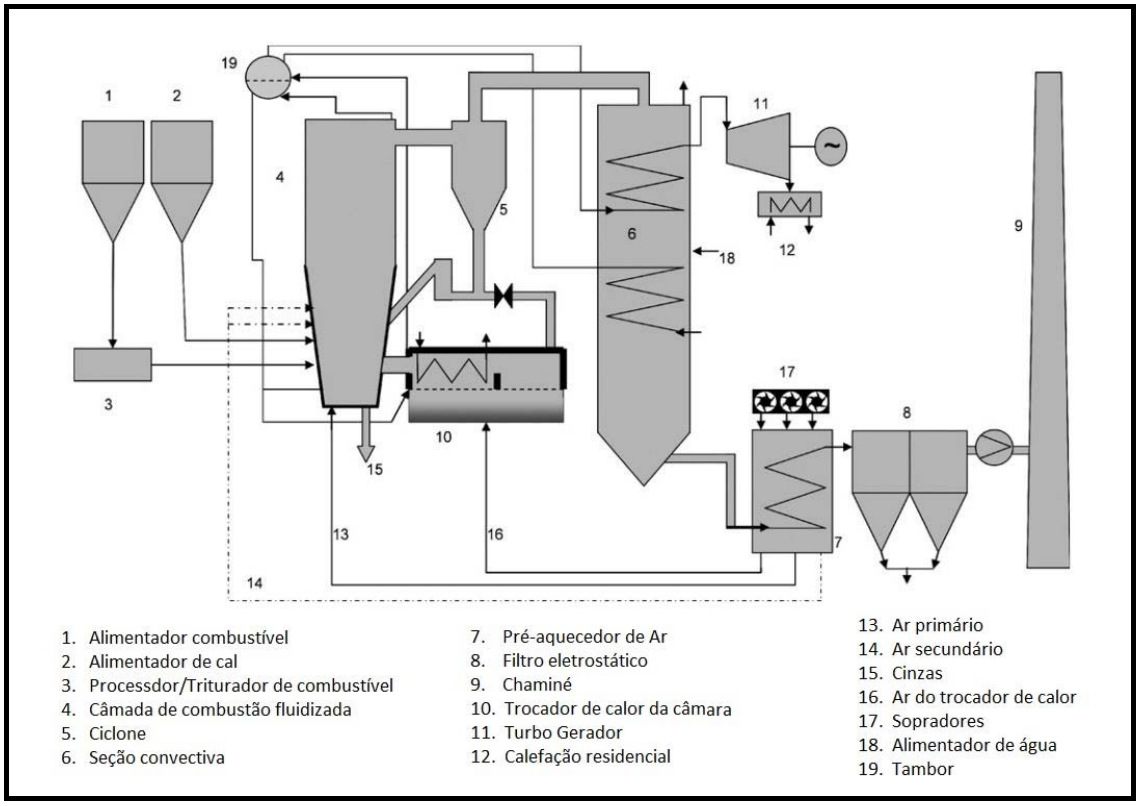

Figura 2.2.1.3. – Esquema simplificado dos componentes que compõem uma planta de incineração do tipo Câmara Fluidizada, mais especificamente uma *Circulating Fluidized Bed* (CFB). **Fonte:** KOORNNEEF, 2007.

A seguir os principais componentes e parâmetros de projeto são discutidos, destacando-se em alguns casos a diferença entre as duas tecnologias de câmara fluidizada mais comuns, BFB e CFB.

1 - Preparação do combustível: antes de se alimentar o forno com o combustível a ser utilizado é necessário que ocorra a sua preparação. Existem diversas técnicas para processar e preparar o combustível entre a etapa de estocagem e a de combustão. Os principais objetivos dessas técnicas de pré-tratamento são o de deixar o combustível no seu tamanho ideal para a combustão, o de secá-lo, e o de separar os componentes não combustíveis que venham a estar misturados. Os dois últimos objetivos do pré-tratamento citados acima são mais necessários quando estamos queimando combustíveis provenientes de resíduos e biomassa (TENNESSEE VALLEY AUTHORITY, 1994). A CFB utiliza normalmente o combustível em partículas menores (<25mm), diferentemente da tecnologia BFB que pode utilizar o combustível em partículas um pouco maiores (<50mm).

2 - Incinerador: nos incineradores BFB, a maior parte das partículas do combustível que são alimentadas para dentro da câmara reage com o oxigênio vindo do fluxo de ar ascendente (ar primário). Nele, a zona baixa de combustão dentro da

câmara possui uma alta densidade da mistura de combustível, adsorvente (opcional quando se está queimando carvão com altos teores de enxofre) e cinzas. A camada refratária da câmara primária protege essa parte do forno de altas temperaturas como também da erosão e da corrosão. O leito do forno serve como um transmissor de calor possibilitando altas transferências de calor entre as partículas. Devido a isso as câmaras de incineração BFB são menos sensíveis às variações de umidade presentes nos combustíveis, e são bastante apropriadas para a queima de combustíveis vindo de resíduos e biomassa, e combustíveis que possuem uma ampla variação no teor de umidade.

O ar secundário de combustão é alimentado acima da zona de combustão para aumentar a taxa de combustível e oxigênio da mistura, fazendo assim aumentar a eficiência de combustão. A diferença básica e primordial entre a tecnologia de incineradores BFB, e sua tecnologia sucessora, a CFB, é a velocidade de fluidização dentro da câmara de combustão, sendo esta maior para a CFB quando comparada com a BFB. Como resultado desta diferença, os sólidos são arrastados na corrente de ar de forma mais equitativa ao longo da altura incinerador do forno tipo CFB. A mistura dentro da câmara de combustão é fluidizada com o ar primário e o ar secundário (figura 2.2.1.3.). As altas velocidades dessa mistura vigorosa dos componentes nas CFB resultam em um padrão diferenciado de transferência de calor pelo gás da combustão. A transferência de calor e a concentração de partículas diminuem mais gradativamente ao longo da altura das CFBs. Isso resulta na distribuição de temperaturas de forma mais homogênea em um incinerador CFB do que em um BFB.

A temperatura de combustão em um incinerador BFB, comparado com um CFB, é menor devido a baixa qualidade do combustível utilizado no forno BFB, devido também ao maior tamanho das partículas de combustível, e aos altos valores de umidade presentes.

3 - Coleta e circulação de partículas: na tecnologia BFB há uma necessidade maior em se coletar as cinzas e o material sólido não-combustível (vidro, pedras etc.) presente no incinerador, pois a conglomeração desses sólidos pode prevenir o bom funcionamento do incinerador. Estes sólidos são comumente coletados por ciclones ou dispositivo similar de coleta. As partículas de combustíveis não-queimadas, que são coletadas, são realimentadas no sistema para aumentar de forma geral a eficiência de combustão do sistema. Os gases são levados ao precipitador eletrostático (figura 2.2.1.3.), aos filtros de manga, ou a qualquer outro dispositivo de coleta de partículas

sólidas para a coleta das pequenas partículas ainda presentes no gás antes de serem emitidos pela chaminé (figura 2.2.1.3.).

Devido às altas velocidades de fluidização na câmara dos incineradores CFB, grandes concentrações de partículas também são encontradas na parte superior do incinerador. Essas partículas sólidas devem ser separadas dos gases quentes da combustão antes dele continuar seu caminho convectivo pelo sistema. Elas serão coletadas por um ciclone (figura 2.2.1.3.) ou por algum outro dispositivo de separação de sólidos, que irá retirar até 100% dos sólidos que estiver presente nesse gás através da força de centrifugação.

Os sólidos coletados podem ser resfriados utilizando um permutador de calor externo de câmara fluidizada, aproveitando a energia em forma de calor, realimentando o forno para um novo ciclo. Especialmente quando está sendo queimado um combustível de baixo valor calorífico, a temperatura do leito deve ser mantida em condições mínimas operacionais, e isso pode ser controlado ajustando a taxa de circulação dos sólidos e a recirculação dos gases da combustão, além de outros fatores.

4 - Superfície de troca de calor: as superfícies de transferência de calor nos incineradores de câmara de combustão fluidizada são utilizadas para realizar o trabalho de evaporação, superaquecimento e reaquecimento dos resíduos incinerados. O trabalho de evaporação é realizado pelas paredes do incinerador, que consiste em feixes de tubos, que são dispostos horizontalmente ou verticalmente. Esta parte do forno é similar em ambos os tipos de fornos, BFB e CFB. Outra estrutura similar aos dois tipos de incineradores é a “seção convectiva” (figura 2.2.1.3.), que se localiza a jusante do forno do incinerador no processo. Nela, os gases quentes provenientes da combustão que saem do incinerador, ou do ciclone, entram na seção onde o calor é transferido a superaquecedores ou reaquecedores, produzindo vapor e água superaquecida. Quando este gás da combustão sai da “seção convectiva”, o calor ainda existente nele é utilizado para o pré-aquecimento do ar primário e do ar secundário. Adicionalmente, o calor deste gás pode também ser utilizado com o propósito de secagem dos combustíveis a serem utilizados.

O vapor e água quente produzidos são enviados para dentro de tambores de vapor. Nestes tambores é separada a água do vapor. O vapor é enviado a superaquecedor(es) e pré-aquecedor(es), e a água é enviada para os evaporadores. De lá, o vapor é superaquecido e expandido em uma turbina de alta pressão e (opcionalmente) é reaquecido na “seção convectiva” antes de ser expandido em uma

turbina de vapor de baixa pressão. O vapor pode também ser utilizado como vapor de processo ou para a calefação de ambientes.

As transferências de calor que ocorrem dentro do forno, além de serem necessárias para a produção do vapor, são primordiais no controle da temperatura do forno incinerador. Outra forma de se controlar a temperatura dentro do forno é através da recirculação do gás da combustão pelo forno. Para combustíveis de baixo calor específico é possível omitir as transferências de calor com o caráter de controlar a temperatura do forno.

A seguir apresentam-se alguns dos principais aspectos positivos e negativos na utilização da tecnologia de incineração para a destinação final dos RSU.

Principais aspectos negativos:

- Quanto à emissão de poluentes: as plantas de incineração atuais têm níveis de emissões que respeitam os limites de emissões exigidos na legislação, inclusive na legislação européia, e mais especificamente a Alemã, uma das mais restritivas do mundo, porém elas ainda emitem no ar poluentes que são altamente tóxicos e que se acumulam nos organismos ao longo do tempo, as dioxinas e furanos. As dioxinas e furanos, mesmo em baixas concentrações, possuem um grande potencial cancerígeno quando em contato com o homem.

- Quanto à aceitação da população: a prática da incineração, mesmo sendo feita com a utilização da melhor tecnologia disponível (BAT) para redução das emissões, e mesmo ela respeitando todos os limites de emissões previstos em lei, continua sendo muito rejeitada pela sociedade devido ao seu histórico passado de altos níveis de emissões e do descompromisso com os aspectos ambientais. A utilização dos resíduos como fonte de energia renovável somente foi reconhecida recentemente em alguns países, exigindo um certo tempo para que se perceba uma mudança na forma como é vista esta tecnologia de processamento por parte da população.

- Quanto ao custo: o custo da instalação/operação de uma planta de incineração é considerado um fator negativo quando no contexto de um país onde os custos da prática dos aterros sanitários é muito baixa, como é o caso do Brasil. Países como o Brasil ainda possuem grandes espaços físicos para a construção de novos aterros, além de não possuir legislação específica que incentive o uso da incineração, não há também uma a tecnologia de incineradores a nível nacional, sendo necessária a importação. Por último, são países onde ainda não se praticam as *gate fees*, ou taxas

de portão ao pé da letra, que é uma taxa para desestimular a prática da atividade de aterragem e que junta fundos para serem empregados em melhorias ao meio ambiente. Por outro lado, a menor distância entre a fonte geradora de resíduos e as plantas de incineração tem um impacto positivo no balanço econômico dos incineradores, reduzindo os custos de transporte dos resíduos até sua destinação final adequada.

Principais aspectos positivos:

- Quanto à recuperação energética: as plantas de incineração que realizam o aproveitamento energético dos resíduos possuem uma eficiência de aproveitamento bastante elevada quando comparamos com a eficiência de aproveitamento energético de um aterro para estes fins. Como será discutido a seguir, de acordo com um estudo do WORLD BANK (1999), dentre as diversas formas de aproveitamento energético (elétrica + térmica) a partir da incineração a eficiência variando entre 35 e 85%, de acordo com a combinação das formas distintas de aproveitamento energético. A recuperação energética nos aterros, através da utilização do metano presente no biogás, apresenta uma diferença considerável na eficiência da recuperação energética. No momento da captura do biogás nos aterros, considerando os aterros mais modernos, a eficiência de captura desses gases produzidos na decomposição fica próximo de 50%, reduzindo drasticamente a eficiência global do processo. Além disso, após a captura do gás, o motor de combustão interna que irá queimar o biogás, participando da transformação em energia elétrica, apresenta uma eficiência energética em torno de 25%. Multiplicando-se a eficiência de captura do biogás à eficiência do motor de combustão interna, obtém-se uma eficiência global do processo de aproximadamente 12,5%, ou seja, valores inferiores portanto às plantas de incineração, desconsiderando por ora a possibilidade de co-geração, o que aumentaria estes valores.

- Quanto à facilidade de instalação próximo aos centros urbanos: as plantas de incineração, diferentemente dos aterros sanitários, podem ser instaladas e operadas bem próximas aos grandes centros urbanos, pois podem ser implantadas em um terrenos menor do que o necessário/requerido para um aterro com a mesma capacidade de processamento, reduzindo o custo logístico do gerenciamento dos resíduos e a distância percorrida para a destinação dos resíduos. Além disto, após o término do período de atividade de uma planta de incineração o terreno inicial poderá ser utilizado para qualquer atividade, inclusive para a instalação de uma nova planta,

diferentemente dos aterros que devem ser monitorado por períodos de até 100 anos após seu fechamento e têm seu local inicial inutilizado para diversas atividades (ECOLOG, 2010).

- Quanto à recuperação de materiais: a recuperação de materiais nas plantas de incineração é completamente viável. Atualmente, muitas plantas de incineração de RSU têm um pré-tratamento dos resíduos para a separação dos materiais recicláveis. A planta de incineração USINAVERDE na ilha do fundão, por exemplo, possui uma cooperativa de reciclagem em que trabalhadores retiram da esteira, que leva os resíduos para o forno, todo o material passível de reciclagem. Comparativamente, a recuperação da matéria ainda é mais positiva do que a recuperação energética, pois além de gerar uma economia de energia, a recuperação de matéria poupa também os recursos naturais na produção do novo matérial. O balanço econômico positivo gerado a partir da economia de energia e da recuperação dos materiais pelos incineradores deve ser considerada também no estudo dos custos de utilização dos mesmos.

2.2.2. INCINERAÇÃO COM APROVEITAMENTO ENERGÉTICO (WTE)

Os resíduos sólidos urbanos que são incinerados em uma planta de recuperação energética precisam passar por uma etapa de pré-tratamento antes de serem enviados para o forno. O pré-tratamento se faz necessário, pois os resíduos precisam estar com algumas de suas características constantes, como a umidade e a quantidade de energia presente nos resíduos, para que assim possa ocorrer a queima homogênea e a conseqüente produção da energia elétrica. A maioria dos incineradores, entretanto, possui sistemas de alimentação de combustível auxiliar, que ajuda a manter os parâmetros da queima constantes dentro do forno.

Quando fala-se de incineração inclui-se, de uma forma geral, o conceito da recuperação energética pois, qualquer que seja o tipo de forno utilizado na queima dos resíduos, é necessário reduzir a temperatura dos gases da combustão a valores que possibilitem o seu envio para os equipamentos de controle de poluição do ar. Este resfriamento, por mais simples que seja, irá produzir vapor d'água e logo se caracterizará pela recuperação energética, podendo este ser utilizado em algum processo industrial ou então no aquecimento de residências.

A incineração de resíduos com o aproveitamento energético é uma das soluções existentes para o gerenciamento dos RSU. Ela somente se tornará uma opção viável para o tratamento dos resíduos sólidos se todo o processo for ambientalmente correto. A única possibilidade de se atingir um processo ambientalmente correto é através da utilização da melhor tecnologia disponível no controle das emissões (*Best Available Technology* - BAT[8]). Os projetos de recuperação energética através da incineração possuem uma receita extra da venda da energia produzida que pode ser crucial na viabilidade econômica do projeto. Além disso, a incineração de resíduos com a recuperação energética é uma atividade já reconhecida em diversos países como uma atividade produtora de energia do tipo renovável, com possibilidades ainda de produção de créditos de carbono.

Mesmo em um momento onde o aproveitamento energético através da incineração do lixo se mostra uma solução para dois grandes problemas atuais, a necessidade de uma nova alternativa para a destinação dos RSUs e a necessidade de aumento da produção/oferta de energias de fontes renováveis, existem alguns fatores que fazem com que esta opção ainda não seja uma realidade no Brasil. A resistência contra a instalação e operação de uma usina de incineração ainda é muito grande, mesmo considerando que as plantas atuais de incineração emitam em níveis considerados seguros e respeitam os limites mais restringentes existentes em legislação para a emissão de poluentes (GAIA, 2011). Esta resistência, considerada natural, parte do princípio do *Not In My Backyard (NIMB)*, que significa ao pé da letra “Não no meu quintal”, ou seja, é a idéia em que todos querem que haja uma solução, porém ninguém quer que esta solução seja próxima às suas mediações ou dentro do seu domínio. Este princípio do NIMB ocorre também com outras instalações de tratamento de resíduos e efluentes, não sendo exclusivo no uso dos incineradores.

O processo de recuperação energética a partir da incineração se inicia com a liberação da energia presente nos resíduos, utilizado como combustível do processo, através de uma reação de combustão que ocorre dentro do leito dos fornos de incineração. A energia presente nos resíduos e liberada, juntamente com a energia liberada na queima dos combustíveis auxiliares e da energia presente no ar pré aquecido injetado no forno, é conduzida para fora da câmara de combustão através

[8] *Best Available Technology* (BAT) - a melhor tecnologia disponível para controle das emissões são equipamentos e tecnologias avançadas específicas que são apropriados para reduzir ao máximo os diferentes poluentes existentes nos gases da combustão.

dos gases da combustão. A energia térmica presente nos gases da combustão é então transferida através de um boiler para a mistura água/vapor que está no seu interior, gerando uma determinada quantidade de vapor d'água a uma determinada pressão. Tanto a temperatura como a pressão produzida irão variar de acordo com o design do boiler. A razão entre a energia transferida ao ciclo de vapor no boiler e a energia inicialmente introduzida na câmara de combustão é definida como a "Eficiência do Boiler". Os fornos de câmara de combustão fluidizada podem atingir uma eficiência do boiler de até 90%. Já os fornos de grade têm uma eficiência do boiler de cerca de 80% (FEA, 2002).

Como citado acima, os gases da combustão são resfriados em um boiler antes de entrarem no sistema de controle de poluição do ar. O boiler é necessário para que ocorra a recuperação energética. O tipo de boiler para ser utilizado na recuperação energética irá depender do uso a ser dado à energia do água/vapor quente que esta sendo produzido, podendo ser utilizado para o aquecimento de casas, para processos industriais, ou para a geração de eletricidade.

Um estudo do WORLD BANK (1999) revela que há basicamente 3 tipos de boiler utilizados na recuperação energética, cada um destes é indicado e mais comum para uma forma de realizar o aproveitamento energético. O mais simples dos três é o *Hot Water Boiler*. Este tipo de Boiler é utilizado exclusivamente para produzir água quente (entre 110ºC e 160ºC aproximadamente) para o aquecimento distrital, que inclui o aquecimento de residências e prédios públicos. Este tipo de boiler atinge uma eficiência de até 80%, possui design bastante simples e baixo custo de operação.

O *Low-Pressure Steam Boiler*, assim como o primeiro descrito, possui design muito simples e é de fácil instalação e operação, possuindo baixo custo de operação. O vapor produzido por este tipo de boiler (entre 120ºC e 250ºC, máximo 20 bar de pressão) é utilizado mais comumente em processos nas indústrias. O *Low-Pressure Steam Boiler* apresenta uma eficiência máxima próxima de 80%.

O terceiro tipo, o *High-Pressure Steam Boiler*, e é utilizado nos casos onde se pretende produzir energia elétrica, com a possibilidade da produção combinada de calor para calefação ou para a utilização em processos industriais. Este tipo de boiler requer um cuidado maior devido à natureza altamente corrosiva dos gases da combustão. Ele necessita de mais espaço para instalação e tem um custo maior de instalação e operação do que o *Hot Water Boiler* e o *Low-Pressure Steam Boiler*. Diferentemente dos demais, este boiler utiliza o conhecido ciclo de Rankine de vapor,

onde ocorre a reutilização da água inicial, fazendo com que a eficiência do boiler chegue até a 85%. Este boiler tem um limite produção de vapor em 400ºC e 40 bar de pressão (WORLD BANK, 1999). A figura 2.2.2.1. resume os dados apresentados acima sobre os três tipos de boilers utilizados na recuperação energética.

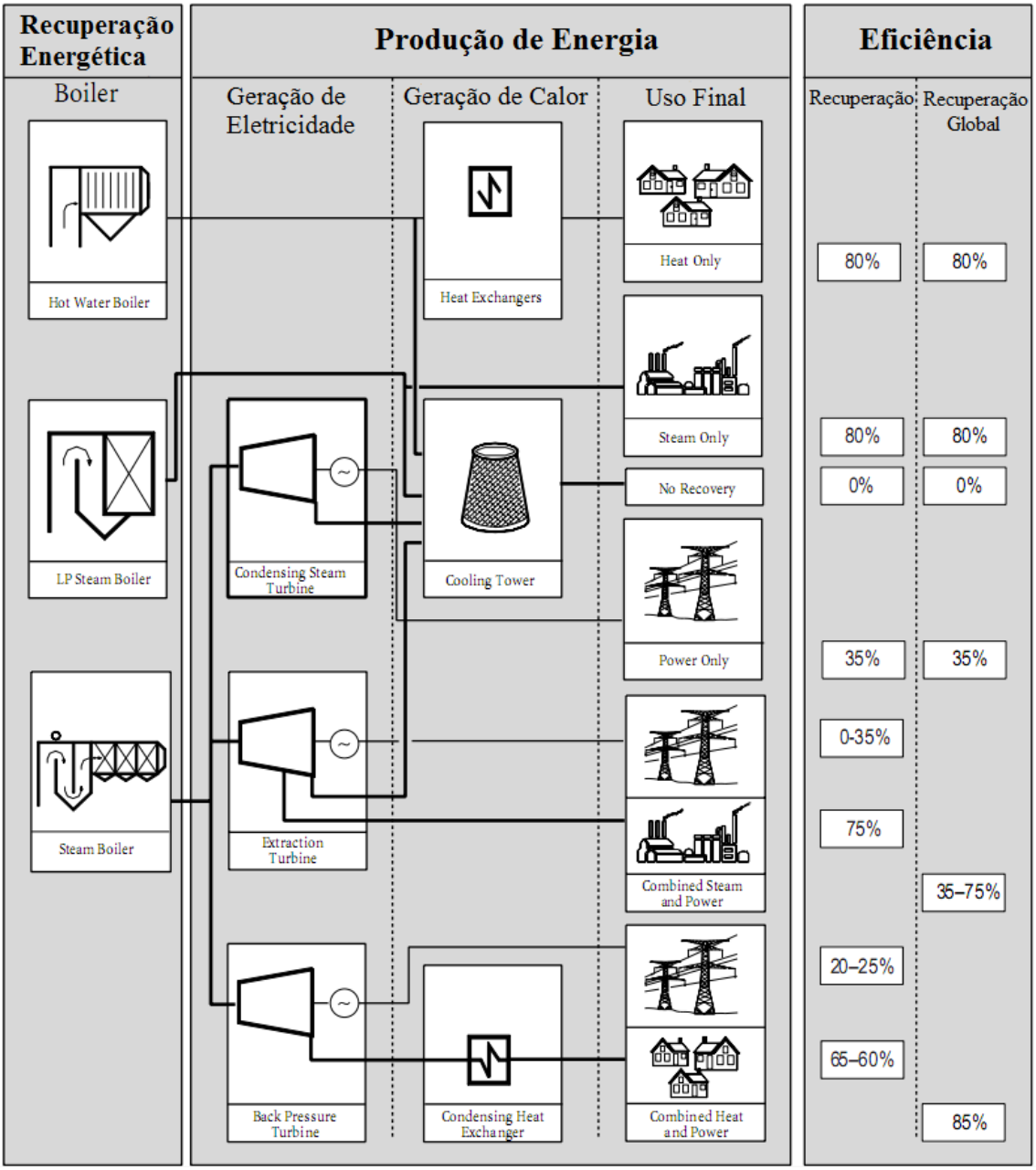

Figura 2.2.2.1. - Diagrama com uma visão global das tecnologias utilizadas na recuperação energética, incluindo a eficiência de cada sistema utilizado. **Fonte:** WORLD BANK, 1999.

Independente do boiler utilizado, mas principalmente no uso do *High-Pressure Steam Boiler*, a temperatura e pressão de operação devem ser limitadas quando comparados com uma planta de produção de energia elétrica que utilize um combustível fóssil, pois os resíduos, diferentemente dos combustíveis convencionais, possuem altas

concentrações de cloro, que quando combinado com o enxofre, produzirão gases de combustão altamente corrosivos e erosivos para o sistema. Logo, a pressão e a temperatura dos vapores produzidos pelo *High-Pressure Steam Boiler* devem ser limitadas a 400ºC e a 40 bar de pressão (WORLD BANK, 1999).

Os vapores utilizados para o aquecimento de residências ou em processos industriais, para serem utilizados pelo consumidor final, são apenas transmitidos por tubulações ao seu consumidor, podendo este ser um complexo industrial, ou um bairro residencial de uma zona urbana. Nestes casos, somente é viável o aproveitamento energético do vapor quando estes consumidores estão fisicamente próximos à planta geradora, pois esta forma de energia não pode ser transportada por grandes distâncias sem que haja grande dissipação de energia pelo caminho, o que reduziria drasticamente a eficiência energética de todo processo.

Para a produção de energia elétrica, a utilização do vapor exige algumas etapas a mais do que quando se utiliza somente para a calefação ou em processos industriais. Como na figura 2.2.2.1, após produzido no *High-Pressure Steam Boiler*, que é o boiler indicado para produzir vapor para estes fins, o vapor passa por uma das três diferentes turbinas geradoras de energia elétrica. Cada uma é utilizada para uma finalidade. Uma delas é utilizada para a produção dedicada de energia elétrica. A segunda é utilizada para a geração de energia elétrica combinada ao uso do vapor para processos industriais. Já a terceira é utilizada para a geração de energia elétrica combinada ao uso do vapor para o aquecimento de residências. Cada turbina geradora irá apresentar sua eficiência de acordo com o seu uso, estando todos estes valores de eficiência na própria figura (WORLD BANK, 1999).

A escolha de qual opção para recuperar a energia presente nos resíduos irá depender de diversos fatores que são determinantes. Para iniciar esta análise deve-se destacar que, de acordo com o tipo final de utilização que se busca para esta energia há um opção tecnológica específica. É importante para esta análise considerar as limitações locais e tecnológicas da planta de incineração a ser instalada. Essas limitações são das mais diversas, incluindo a distância para uma indústria ou complexo industrial que possa utilizar o vapor; a distância para cidade que receberá a energia para a calefação; a proximidade de linhas de transmissão de energia elétrica para que o excedente da produção possa ser repassado para os consumidores; o custo de alguns tipos de boilers, como o de algumas turbinas geradoras de energia elétrica; a demanda por aquecimento de residências do local, que no caso do Brasil se restringe

à poucas regiões no sul do país. Além disso, o vapor produzido durante a recuperação energética pode ser utilizado também para produzir frio, podendo ser utilizado em todo o território, além da possibilidade de ser utilizado nas ecofábricas. Ou seja, a escolha da melhor opção para recuperação energética a partir da incineração estará atrelada a muitos fatores, como os listados acima e também a outros de caráter econômico e ambiental.

A seguir, a tabela 2.2.2.1. apresenta uma análise sintetizada dos principais aspectos referentes às duas formas de destinação. Esta análise é feita de forma direta, com apenas duas possibilidades, “X” ou “O”, sendo a letra “X” atribuído à melhor tecnologia no critério em questão. Por exemplo, no critério “Distância entre geração e destinação” os aterros sanitários receberam a avaliação “O” pois é a tecnologia com a maior distância entre a geração e a destinação, ou seja, é um aspecto analisado onde os aterros sanitários possuem desvantagem quando comparados com a incineração.

Tabela 2.2.2.1. - Avaliação comparativa de diferentes critérios entre a utilização de aterros sanitários *versus* a utilização da incineração para a destinação dos RSUs.

Critérios	ATERROS SANITÁRIOS	INCINERAÇÃO
Custo Instalação	X	O
Custo Operacional	X	O
Distância entre geração e destinação	O	X
Poluição Solo	O	X
Poluição Água	O	X
Poluição Ar (Dioxinas e Furanos)	X	O
Emissão de Gases de Efeito Estufa	O	X
Recuperação Energética	O	X
Recuperação de Materiais	X	O
Passivos Ambientais	O	X

Fonte: Elaboração própria.

A escolha de uma análise com apenas dois estados, “X” e “O”, para a avaliação dos critérios na tabela 2.2.2.1. foi feita apenas para simplificar a avaliação, porém isto não significa que existam apenas dois estados para cada critério de avaliação, um ótimo e um ruim. A única informação que a tabela 2.2.2.1. fornece, e a única que interessa no momento, é saber que a tecnologia que recebeu uma avaliação “X” é melhor do que a outra tecnologia no critério que esta sendo avaliado.

Capítulo 3

ALGUMAS EXPERIÊNCIAS INTERNACIONAIS

3.1. ATERROS SANITÁRIOS

3.1.1. EUA

a) Legislação

Nos Estados Unidos, o Código de Regulamentos Federais (CFR) é a codificação das regras gerais e permanentes publicada no Diário Oficial da União por parte dos serviços executivos e das agências do Governo Federal. Ele é dividido em 50 títulos que representam as grandes áreas sujeitas à regulamentação federal. Cada volume do CFR é atualizado anualmente e emitidos em grupos a cada trimestre.

O Título 40 do Código de Regulamentos Federais (40CFR) concentra os regulamentos federais relativos ao meio ambiente que foram editadas pela *Environmental Protection Agency* dos EUA (US EPA), com base nas disposições da legislação dos EUA. A principal meta do 40CFR é tratar dos assuntos que se referem a proteção da saúde humana e ambiental.

Dentro do título 40 do Código de Regulamentos Federais devemos destacar as partes que se referem à disposição dos resíduos sólidos urbanos nos aterros. Seus dois subcapítulos que referem-se aos aterros sanitários são o subcapítulo C (Partes 50 - 99), referente aos Programas do Ar, e o subcapítulo I (Partes 239 - 282), referente aos Resíduos Sólidos.

Dentro do subcapítulo C, sobre os Programas do Ar, que inclui o *Clean Air Act*, as regulamentações são voltadas para o controle da qualidade do ar e regulam basicamente os limites de emissões. O principal regulamento deste subcapítulo no que diz respeito aos aterros sanitários é a Parte 60 subpartes WWW e Cc, que definem o *Padrão de Desempenho para Novas fontes Estacionárias e Diretrizes para o controle das fontes existentes: Aterros Sanitários.* Estas subpartes irão determinar padrões de desempenho para os poluentes lançados pelos aterros, os compostos orgânicos não-metano (NMOC) e o metano. Nestas subpartes ficam determinadas algumas metas de redução de emissões dos poluentes emitidos ao ar pelos aterros.

Dentro do subcapítulo I, exclusivo sobre os Resíduos Sólidos, as regulamentações são voltadas para as normas e critérios de instalação de sistemas para o tratamento dos resíduos sólidos. O principal regulamento deste subcapítulo, no que diz respeito aos aterros sanitários dos resíduos sólidos, é a Parte 258, que define os *Critérios para os Aterros Sanitários.* A parte 258, devido à sua importância no processo de instalação e durante a operação dos aterros, será explanada de forma mais detalhada a seguir.

A parte 258 do Título 40 do Código de Regulamentações Federais, ou 40 CFR 258, é subdivida em 7 subpartes (A a G). A subparte A é reservada para informações gerais, informações como o capítulo do propósito, escopo e aplicabilidade, o capítulo de definições, dentre outros. Nesta subparte, o propósito descrito é o de estabelecer critérios mínimos nacionais, no âmbito do *Resource Conservation and Recovery Act* (RCRA), para todas as unidades de aterros de resíduos sólidos urbanos, e no âmbito do *Clean Water Act*, para todas as unidades de aterros para resíduos sólidos urbanos que recebam para disposição o lodo do tratamento do esgoto.

O 40 CFR 258 não se aplica às unidades de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos que não receberam mais resíduos após 9 de Outubro de 1991. Fica determinada também na subparte A que os requisitos presentes no 40 CFR 258 devem ser cumpridos até 9 de Outubro de 1993 para todas as unidades que recebem ou receberam após esta data, possuindo algumas exceções especificadas nesta subparte.

A subparte B intitulada como *Location Restrictions*, refere-se às áreas onde há alguma restrição na construção ou administração do aterro sanitário. Os locais descritos nos capítulos desta subparte, onde há restrições, são: locais próximos a aeroportos, devido ao risco de choque da aeronave com eventuais pássaros; os *Floodplains*, ou Várzeas, ou seja, áreas baixas adjacentes a locais como lagos, rios e até a costa, locais que sofram inundações na freqüência de 100 em 100 anos; as regiões pantanosas, ou alagadiças; as regiões de falhas geológicas; as zonas de impacto sísmico, e as áreas instáveis, ou seja, áreas que estejam sujeitas a qualquer tipo de instabilidade na estrutura geológica do aterro e às partes que o compõe.

Na terceira subparte, ou subparte C são abordados os critérios operacionais. Os capítulos que compõem esta subparte são:

- Procedimentos para detecção e rejeição da recepção de resíduos perigosos;

- Requisitos para o material de cobertura;
- Controle de vetores de doenças;
- Controle de gases explosivos;
- Parâmetros do ar;
- Controle de acesso local;
- Sistemas de controle *Run-on/Run-off,* relativos ao controle de inundações do aterro;
- Requisitos sobre as águas superficiais;
- Restrições de efluentes, e;
- Requisitos de manutenção de registros.

A subparte D estipula os critérios do projeto do aterro sanitário. Nela fica determinado que o projeto deve garantir que a concentração de diversos poluentes, apresentados em uma tabela, não devem ultrapassar de seu limite nas águas superficiais, quantificados em pontos relevantes. Esta subparte também determina a obrigatoriedade de utilização de revestimentos múltiplos na construção dos aterros, e de um sistema de captação do percolado (chorume) que mantenha uma coluna de chorume sobre o revestimento inferior sempre inferior a 30 cm. De acordo com esta subparte, o sistema de revestimento múltiplo do aterro é composto por dois componentes, o componente superior consiste em uma cobertura de membrana flexível, com uma espessura mínima de 0,75 mm, e o componente inferior, que é composto por uma camada de solo argiloso compactado de no mínimo 60 cm, com uma condutividade hidráulica de no máximo $1x10^{-7}$ cm/seg. A cobertura de membrana flexível consiste em uma camada de polietileno de alta densidade (PEAD) que deve possuir uma espessura mínima de 1,5 mm e deve ser instalado direta e uniformemente em contato com o componente do solo compactado.

A seção seguinte, a subparte E, trata especificamente dos sistemas de monitoramento das águas subterrâneas e possíveis ações corretivas relativas a este sistema. Esta seção determina a quantidade mínima de poços, as suas localizações e suas profundidades corretas para a utilização das águas a serem analisadas. Com estas amostras de água são realizadas análises de suas propriedades físicas, químicas e

biológicas. O programa de amostragem e análise destas águas deve ser devidamente documentado e arquivado, devendo estar incluso os procedimentos e técnicas para: coleta das amostras, preservação e envio de amostras, procedimentos analíticos, cadeia de controle de custódia e para garantia e controle da qualidade.

A subparte E também determina a necessidade de um programa de monitoramento e detecção de todos os poços de água subterrânea. Este programa deve incluir, no mínimo, o monitoramento dos constituintes listado no apêndice I do 40CFR258. Este programa demanda uma freqüência mínima de monitoramento dos itens listados no apêndice I de pelo menos 2 vezes ao ano, tanto no seu período de operações, quanto no seu período pós-fechamento. Está descrita nesta mesma subparte a necessidade de um programa de avaliação do monitoramento, que checa as variações nas concentrações dos componentes quantificados nas amostras e confirma se há, ou não, uma contaminação destas águas, a avaliação das medidas corretivas, a seleção da remediação para o "problema" detectado, e por último um programa de implementação das ações corretivas.

A penúltima subparte, a subparte F, é dedicada aos cuidados no fechamento e pós fechamento desses aterros. Nesta fica determinado que os donos ou operadores do aterro sanitário de resíduos sólidos urbanos devem instalar um sistema de cobertura final para minimizar a erosão e infiltração. Este sistema de cobertura final deve ser designado e construído para:

- ✓ Ter permeabilidade menor ou igual à permeabilidade de um sistema de cobertura inferior, ou de subsolos naturais presentes, sendo esta permeabilidade não maior que $1x10^{-5}$ cm/seg;
- ✓ Minimizar a infiltração e a erosão do Aterro através da utilização de uma camada de aproximadamente 45 cm de solo argiloso, e que seja capaz de sustentar o plantio e crescimento de plantas nativas.

Os operadores devem iniciar as atividades de encerramento de cada unidade do aterro em no máximo, 30 dias após o recebimento do seu último resíduo. Se for o caso do aterro possuir ainda capacidade para o recebimento de resíduos, e também exista uma possibilidade razoável de receber mais resíduos, este aterro terá não mais de um ano para iniciar as atividades de encerramento após a data de recebimento dos últimos resíduos. Após iniciada as atividades de encerramento, o dono ou operador do

aterro deverá finalizar o processo de encerramento de todas unidades, de acordo com o plano de fechamento, em até 180 dias.

Os cuidados pós-fechamento do aterro devem ser conduzidos em média por 30 anos, salvo as exceções descritas nesta subparte, podendo ser reduzido ou ampliado este período. Estes cuidados pós-fechamento consistem minimamente em: a manutenção da integridade e eficiência da cobertura final, incluindo a realização de reparos às coberturas caso necessária, a manutenção e operação do sistema de coleta de chorume, o monitoramento das águas subterrâneas, de acordo com a subparte E, descrita anteriormente, e a manutenção e operação do sistema de monitoramento dos gases.

A última subparte trata dos critérios de garantia financeira, e por não ser o foco do atual trabalho, não foi explanado.

b) Estado da Arte (implantação)

De acordo com US EPA (2009), no ano de 2008 a população americana gerou aproximadamente 250 milhões de toneladas de resíduos sólidos urbanos. Comparando-se com a quantidade de resíduos produzidos em 1990, 205 milhões de toneladas, houve um crescimento de aproximadamente 25% na produção total de resíduos. Se comparada com a década de 60, ano em que se produziu 88 milhões de toneladas, pode-se dizer que este montante de resíduos triplicou, ou seja, teve um aumento aproximado de 200%. Porém, quando é feita a comparação com o ano anterior, o ano de 2007, começa a se enxergar uma mudança desta tendência. O que antes era uma linha de crescimento constante e vertiginoso, hoje já apresenta uma queda suave em relação ao ano anterior de 2%. Mesmo com o crescimento progressivo da população americana, o total de resíduos gerado no país começa a reduzir. A tabela 3.1.1.1. resume os dados apresentados acima.

Tabela 3.1.1.1. - Dados históricos sobre a produção total de resíduos nos EUA, sobre a geração per capita diária e sobre o percentual de reciclagem desde 1960 até o ano de 2008.

Ano	1960	1970	1980	1990	2000	2007	2008
RSU produzido (Milhões de Ton.)	88,1	121,1	151,6	205,2	239,1	254,6	249,6
Geração per capita diária (Kg)	1,215	1,474	1,660	2,041	2,109	2,100	2,041
Percentual Recuperado* (%)	6,4%	6,6%	9,6%	16,2%	29%	33,1%	33,2%

Fonte: US EPA, 2009. * Reciclagem + Compostagem.

Pela tabela 3.1.1.1., quando é feita a análise da produção *per capita* diária de RSU nos EUA, observa-se o mesmo padrão de evolução, com crescimento vertiginoso desde 1960 até o começo do século XXI, com uma estabilização e uma suave queda em seguida. Mais que isto, os dados apresentados mostram que esta inversão, de um crescimento para a redução, aconteceu inicialmente na geração de resíduos *per capita*, permitindo que uma vez que a queda do consumo *per capita* fosse reduzida, esta queda iria compensar o crescimento populacional, e desta forma o montante total produzido anualmente nos EUA começaria a reduzir.

Deve-se observar também que, cada americano produziu em 2008 a mesma quantidade de resíduos por dia do que era produzido em 1990, cerca de 2 kg, por outro lado, a taxa de recuperação do ano de 1990 para o ano de 2008 duplicou, evitando o envio de cerca de 83 milhões de toneladas de RSU para os aterros no ano de 2008 (US EPA, 2009).

A tabela 3.1.1.1. mostra que dos 250 milhões de toneladas de RSU produzidas nos EUA em 2008, aproximadamente 83 milhões de toneladas foram recicladas ou fizeram a compostagem (recuperação = reciclagem + compostagem), atingindo uma marca de 33,2% de taxa de reciclagem. Para este mesmo ano, o total incinerado foi de 32 milhões de toneladas, representando cerca de 13% do total dos resíduos gerados sendo enviado para recuperação energética (Figura 3.1.1.1.).

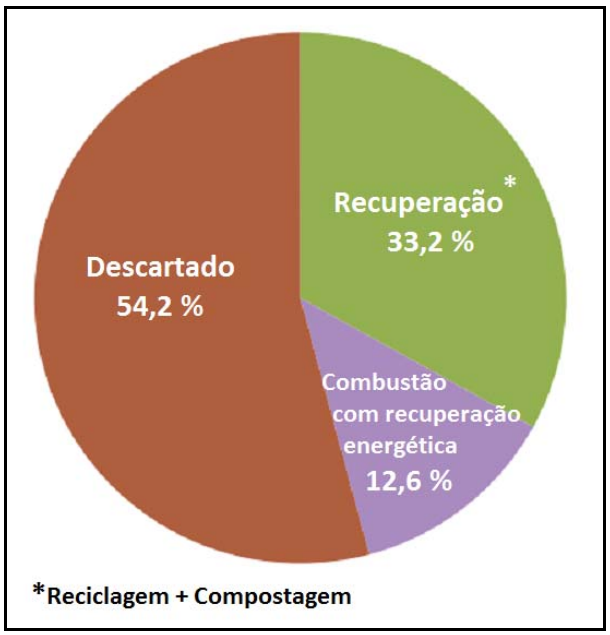

Figura 3.1.1.1. - Gerenciamento dos Resíduos Sólidos Urbanos nos Estados Unidos no ano de 2008. **Fonte:** US EPA, 2009.

De acordo com a figura 3.1.1.1., dos resíduos produzidos em 2008, 54% foram descartados, ou seja, enviados diretamente para algum aterro sanitário, equivalendo a 135 milhões de toneladas de RSU. Conforme US EPA (2008), em 1980 esta taxa de aterragem de resíduos era superior a 90%. No ano de 2000 este valor já estava próximo aos 50%, mostrando uma evolução significativa neste período principalmente devido ao aumento da reciclagem + compostagem. A figura 3.1.1.2. apresenta dados da série histórica de 1960 a 2007, com os percentuais do total dos resíduos tratados pelas diferentes formas de tratamento/diposição, incluindo o aterro, a incineração e a reciclagem, que inclui também a compostagem (US EPA, 2008).

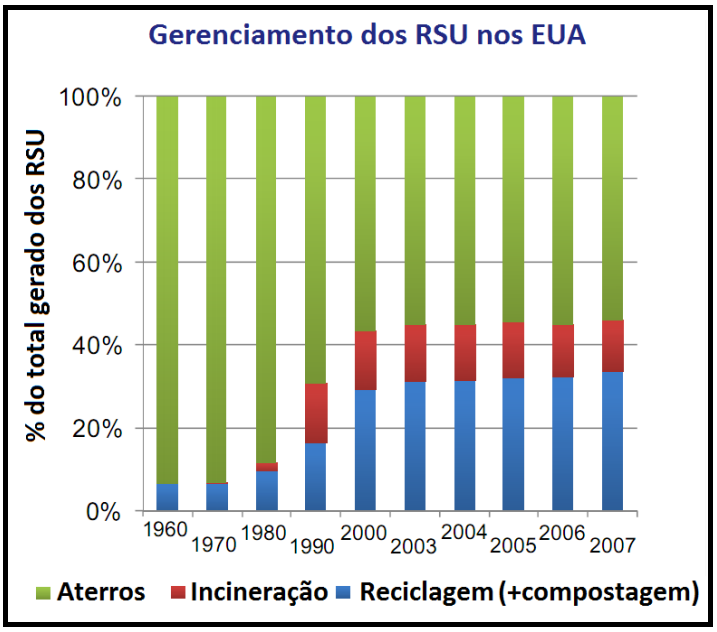

Figura 3.1.1.2. - O gerenciamento dos RSU nos EUA com a série histórica desde 1960 até 2007, mostrando o percentual total dos resíduos enviados para cada tipo de tratamento/destinação. **Fonte:** US EPA, 2008.

A figura 3.1.1.2. apresenta informações interessantes sobre o gerenciamento dos resíduos sólidos urbanos nos Estados Unidos. Através dela é possível observar a evolução das três principais formas de destinar/processar os RSU ao longo dos anos nos EUA. Os aterros, por serem a forma mais antiga e mais simples de disposição dos RSU, eram predominantes na década de 60, tratando aproximadamente 95% dos resíduos que eram gerados. Ao longo do século XX, com o desenvolvimento tecnológico e o surgimento de novas opções de destinação para os RSU, a utilização dos aterros começou a ser reduzida de forma gradativa, principalmente pelo surgimento e crescimento da incineração, como também pelo aumento da prática de reciclagem e da compostagem.

Conforme os dados da figura 3.1.1.2, em 2007 a utilização dos aterros sanitários não ultrapassou em muito os 50%, equivalendo quase que a mesma quantidade de resíduos que foram enviados para a incineração (cerca de 15%) somado aos resíduos que foram para a recuperação (cerca de 35%), que inclui a reciclagem e a compostagem.

Pelos dados apresentados é possível afirmar que os Estados Unidos seguem a tendência mundial de redução da utilização dos aterros sanitário, porém, diferentemente de outros países desenvolvidos, ainda apresentam uma taxa de utilização dos aterros muito elevada, acima dos 50% (US EPA, 2008). Esta defasagem pode ser justificada por 2 principais razões: os Estados Unidos têm um histórico desfavorável quando o assunto é a preocupação com o meio ambiente, sempre tomando decisões que não levavam em considerações os aspectos ambientais envolvidos, apenas os econômicos e políticos; além disso, os Estados Unidos, diferentemente dos países da Europa, não têm a oferta de espaço físico como um fator tão limitante para a construção de novos aterros como é o caso da Europa, mantendo o custo de utilização do aterro reduzido quando comparamos com aos países europeus. A análise de custos feita por países como os EUA considera apenas os custos no curto prazo, negligenciando os custos de longo prazo oriundos da utilização dos aterros, criando uma análise “míope” que não contabiliza os custos elevados futuros.

Na figura 3.1.1.3. é possível observar a evolução do número de aterros em operação desde o ano de 1988, até 2007 nos EUA. Em 1988, o número de aterros era de aproximadamente 8000, caindo para menos de 2000 em 2007, um período de apenas 19 anos, representando uma queda de mais de 75% no número de aterros. O *Clean Air Act*, promulgado na década de 80, foi um dos agentes desta redução, pois a maioria destes aterros em operação não possuía condições mínimas de operação no que tange ás emissões de poluentes para a atmosfera. Além disso, o surgimento de uma regulamentação que determinava critérios de construção e de operação dos aterros (40 CFR 258) restringiu muito o funcionamento de alguns aterros fazendo com que muitos fossem encerrados por estarem em não conformidade com a legislação.

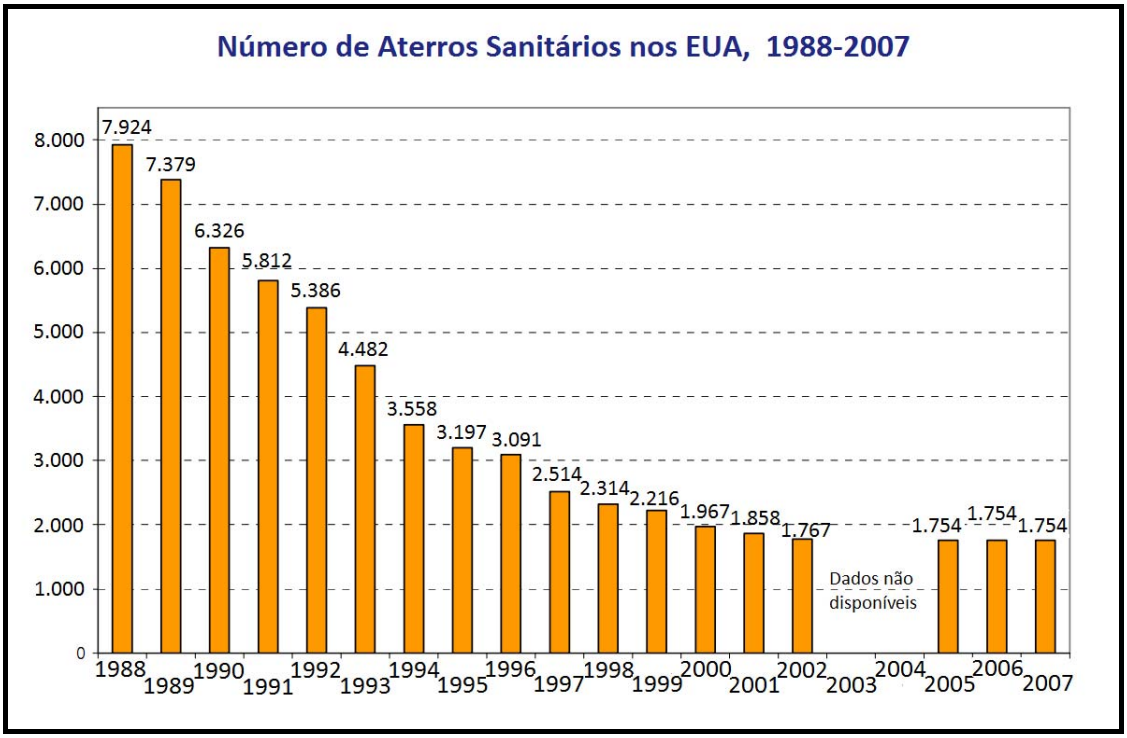

Figura 3.1.1.3. - Gráfico da evolução do número de aterros sanitários em atividade nos Estados Unidos, desde o ano de 1988 até o ano de 2007. **Fonte:** US EPA, 2008.

Juntamente com a redução do número total de aterros nos EUA, que passou de 7982 no ano de 1988, para 1754 no ano de 2007, a capacidade de disposição de resíduos destes aterros que continuaram em operação aumentou. Considerando a capacidade de disposição total atual dos aterros do país, pode-se dizer que não houve mudança significativa pois os aterros que foram encerrados eram locais pequenos e que não estavam em consonância com a legislação americana específica sobre os aterros. Uma vez que tenha permanecido apenas cerca de ¼ dos aterros iniciais, a menor distribuição espacial deles no território causou um problema para o deslocamento dos resíduos, que têm agora que ser transportados até o aterro mais próximo.

c) Principais Plantas

Fechado em março de 2001, o aterro *Fresh Kills Landfiil*, localizado no estado de Nova Iorque, foi temporariamente reaberto após os ataques do 11 de setembro para receber os destroços do atentado. Com 2.200 acres, *Fresh Kills* já foi considerado o maior aterro do mundo. Durante grande parte de seu período de atividade, o aterro recebia cerca de 20 barcaças carregadas com 650 toneladas de resíduos cada todos os dias. No período em que ocorreu o seu fechamento, o pico mais alto do aterro *Fresh Kills* estava cerca de 25 metros acima da estátua da liberdade (ALCOS, 2009).

A tabela 3.1.1.2. apresenta os 10 maiores aterros em operação nos EUA no ano de 2008, utilizando como padrão de comparação a quantidade de resíduos recebidos no ano.

Tabela 3.1.1.2. - Os 10 maiores aterros em operação nos EUA no ano de 2008. Rank criado a partir do número de toneladas dispostas nos aterros no ano de 2008.

Nº	Aterro/Localização	Operador	Tons/ano	Observações
1	**Apex Regional** Las Vegas, NV.	Republic Services Inc.	3.199.653	Inicio suas operações em outubro de 1993, após fechamento do aterro *Sunrise*. Foi projetado para 85 anos de operações (CLARK COUNTY, 2010).
2	**Puente Hills** Whittier, CA.	Los Angeles County	3.149.906	Chegou a receber 13.200 tons por dia de resíduos. Foi considerado o maior aterro em operação nos EUA quando ocorreu o fechamento do aterro *Fresh Kills* (ALCOS, 2009).
3	**Newton County Landfill Partnership** Brook, IN	Allied Waste Industries Inc.	2.926.489	-
4	**Okeechobee** Okeechobee, FL.	Waste Management Inc.	2.640.000	Ocupa uma área de 833 acres. Foi aberto em 1992 e tem expectativa de funcionamento para até 2077 (WM INC, 2010a).
5	**Atlantic Waste** Waverly, VA.	Waste Management Inc.	2.318.471	-
6	**Rumpke Sanitary** Colerain Township, OH	Rumpke Consolidated Cos. Inc.	2.174.660	Iniciou suas operações em 1945. Ocupa área de cerca de 500 acres, sendo 334 acres para a disposição dos resíduos (RUMPKE, 2010).
7	**Pine Tree Acres** Lenox, MI.	Pine Tree Acres Inc.	2.142.348	Ocupa uma área de 755 acres. Foi aberto em 1987 e tinha a expectativa de funcionamento para até 2006 (WM INC, 2010b).
8	**El Sobrante** Corona, CA.	Waste Management Inc.	2.104.362	-
9	**Veolia Orchard Hills** Davis Junction, IL.	Veolia Environmental Services	2.084.445	-
10	**Denver Arapahoe Disposal Site** Aurora, CO.	City and County of Denver	1.946.126	Ocupa uma área de 2.364 acres. Foi aberto em 1990 e tem expectativa de funcionar por mais de 100 anos (WM INC, 2010c).

Fonte: Elaboração própria. A partir de http://www.wasterecyclingnews.com/rankings/landfills_ton2009.html. Acesso em 01 de Outubro de 2010.

3.1.2. UNIÃO EUROPÉIA

a) Legislação

A principal diretiva da União Européia que aborda os aspectos relativos à deposição de resíduos em aterros é a Diretiva 1999/31/CE de 26 de Abril de 1999. Esta diretiva, a fim de dar cumprimento às exigências da Diretiva 75/442/CE, com base em requisitos técnicos estritos em matéria de resíduos e aterros, destina-se a prever

medidas, processos e orientações que previnam ou reduzam os efeitos negativos resultantes da deposição de resíduos em aterro, especialmente ambientais nas águas de superfície, águas subterrâneas, solo, atmosfera e na saúde humana.

Esta diretiva define em detalhes as diferentes categorias de resíduos (resíduos urbanos, perigosos, não perigosos, inertes) e se aplica a todos os aterros, definidos nela como locais de eliminação de resíduos por deposição sobre o solo ou no seu interior. De acordo com a diretiva, os aterros são classificados em três categorias:

- Aterros para resíduos perigosos.

- Aterros para resíduos não perigosos.

- Aterros para resíduos inertes.

Em contrapartida, de acordo com o artigo 3º, a diretiva não se aplica:

- Ao espalhamento de lamas no solo (incluindo as lamas provenientes de esgotos e as lamas resultantes de operações de dragagem).
- À utilização de resíduos inertes em aterros para fins de construção ou de reordenamento;
- À deposição de terra não poluída ou de materiais inertes não perigosos resultantes da prospecção ou extração, tratamento ou armazenagem de recursos minerais ou da exploração de pedreiras.
- À deposição de lamas de dragagem não perigosas nas margens de pequenos cursos de água de onde tenham sido dragadas e de lamas não perigosas nas águas superficiais, incluindo o leito e o subsolo.

A diretiva determina que, no prazo máximo de dois anos após a entrada em vigor da diretiva, os Estados-membros devem definir uma estratégia nacional para a redução dos resíduos biodegradáveis destinados aos aterros. Essa meta deverá ser alcançada através, designadamente, de reciclagem, compostagem, produção de biogás ou valorização de matéria/energia. Esta estratégia nacional deverá assegurar as seguintes metas:

I. No prazo máximo de 5 anos (2006) a partir da data de vigência da diretiva, os resíduos urbanos biodegradáveis enviados aos aterros

deverão ser reduzidos a 75% da quantidade total (por peso) produzida em 1995;

II. No prazo máximo de 8 anos (2009) a partir da data de vigência da diretiva, os resíduos urbanos biodegradáveis enviados aos aterros deverão ser reduzidos para 50% da quantidade total (por peso) produzida em 1995;

III. No prazo máximo de 15 anos (2016) a partir da data de vigência da diretiva, os resíduos urbanos biodegradáveis enviados aos aterros deverão ser reduzidos para 35% da quantidade total (por peso) produzida em 1995.

O artigo 11º determina que, para evitar qualquer perigo, há de ser definido um procedimento uniforme de admissão dos resíduos nos aterros. Este procedimento de admissão determina que:

- Os resíduos devem sofrer um tratamento prévio antes de serem depositados em aterro;
- Os resíduos perigosos que satisfazem os critérios da diretiva devem ser encaminhados para um aterro de resíduos perigosos.
- Os aterros para resíduos não perigosos devem ser utilizados para os resíduos urbanos e para os resíduos não perigosos.
- Os aterros para resíduos inertes serão utilizados exclusivamente para resíduos inertes.

Além disso, de acordo com o 5º artigo, não deverão ser aceitos nos aterros as seguintes formas de resíduos:

- Os resíduos líquidos (efluentes).
- Os resíduos inflamáveis.
- Os resíduos explosivos.
- Os resíduos infecto contagiosos provenientes de estabelecimentos hospitalares ou clínicas;
- Pneus usados, salvo exceções.

- Qualquer outro tipo de resíduos que não satisfaça os critérios de admissão definidos no Anexo II.

A diretiva estipula também a obrigatoriedade de um processo de autorização para exploração de um aterro, ou seja, que seja feito um licenciamento. Os Estados-Membros devem tomar medidas para assegurar que as autoridades competentes somente concedam a licença de exploração de um aterro depois de se certificarem que:

- O projeto do aterro preencha todos os requisitos da presente diretiva, incluindo os anexos;
- A gestão do aterro seja de responsabilidade de uma pessoa singular tecnicamente competente para gerir o aterro; sendo dada formação e atualização profissional e técnica aos operadores dos aterros e respectivo pessoal;
- O aterro será explorado de forma tal que permita tomar as medidas necessárias para prevenir acidentes e limitar as suas conseqüências;
- O requerente irá tomar as medidas necessárias, mediante garantia financeira ou equivalente, para assegurar o cumprimento das obrigações decorrentes da licença emitida ao abrigo do disposto na presente diretiva (incluindo as operações de manutenção após o encerramento) e que serão efetuadas as operações de encerramento previstas no artigo 13º.

No 13º artigo, referente ao processo de encerramento e de manutenção pós-encerramento, são descritas as condições para que ocorra o encerramento da operação de um aterro. Neste artigo fica determina também que o respectivo operador fica responsável pela conservação, acompanhamento e controle na fase de manutenção após encerramento durante o tempo que for exigido pelas autoridades competentes, tendo em conta o período de tempo durante o qual o aterro poderá apresentar perigo.

Ainda pelo artigo 13, o aterro só pode ser considerado definitivamente encerrado depois de as autoridades competentes terem realizado uma inspeção final no local, analisando todos os relatórios apresentados pelo operador e comunicando formalmente ao operador que aprovam o encerramento do aterro.

Por fim, no caso dos aterros já existentes, ou seja, que já possuíam licença ou que se encontravam em exploração antes da data de transposição da diretiva, há medidas previstas no artigo 14º que irão garantir que esses aterros somente continuem em funcionamento se, o mais rápido possível e, o mais tardar, no prazo de oito anos a contar da data de validação da diretiva, eles atendam a essas medidas:

I. No prazo de 1 ano, a considerar o início da validação da diretiva, o operador deve preparar e submeter à aprovação das autoridades competentes, um plano de ordenamento do local que contenha informações referidas no artigo 8º e quaisquer medidas corretoras que o operador considere necessárias;

II. Após a apresentação do plano de ordenamento, as autoridades competentes tomarão uma decisão definitiva sobre a eventual continuação das operações nos termos do referido plano de ordenamento e do disposto na presente diretiva;

III. Autorização pelas autoridades competentes, dos trabalhos necessários, com base no plano de ordenamento aprovado, e fixação de um período de transição para a execução do plano.

Além das mudanças nos padrões de utilização dos aterros na Europa por razão da diretiva dos aterros de 1999, outras diretivas da Comunidade Européia influenciaram neste novo panorama de utilização dos aterros. Abaixo estão relacionadas algumas destas diretivas que influenciaram esta mudança na Comunidade Européia (EEA, 2009):

- ✓ **Diretiva das embalagens e resíduos de Embalagens (1994/62/CE)** - Importante diretiva que reduziu o envio do montante total de resíduos que até então eram enviados para os aterros. Foi a primeira diretiva a determinar metas obrigatórias de reciclagem para os materiais selecionados, sendo as embalagens um fluxo de resíduos muito visível para os cidadãos.

- ✓ **Diretiva das Energias Renováveis (2001/77/CE)** - Determinou que os países membros da União Européia deveriam definir metas nacionais indicativas para que o total da energia consumida no país fosse substituída em parte por fontes de energias renováveis até o ano de 2010. Como a energia oriunda dos incineradores de RSU é classificada

como uma energia renovável, a diretiva acabou por ajudar no incentivo à utilização de incineradores para os resíduos em detrimento do envio para os aterros.

b) Estado da Arte (Implantação)

A aterragem dos RSU, dentre os países membros da EU-27, foi a principal prática para destinação dos RSU predominante durante muitos anos. Dados de um estudo recente (EEA, 2009) revelam que a proporção de resíduos enviados aos aterros em toda a Comunidade Européia (EU-27) no ano de 2007 é de aproximadamente 40%. Pelo mesmo estudo, dados do ano de 1995, 12 anos antes, revelam uma taxa de aterragem de quase 65%. Portanto, de 1995 para o ano de 2007, observou-se uma redução do percentual em 25% da quantidade de resíduos enviada aos aterros. O gráfico da figura 3.1.2.1. mostra a evolução da proporção dos resíduos enviados para os aterros por todos os países que compõem a Comunidade Européia (EU-27), apresentando a quantidade de resíduos enviada para os aterros nos anos de 1995 e de 2007.

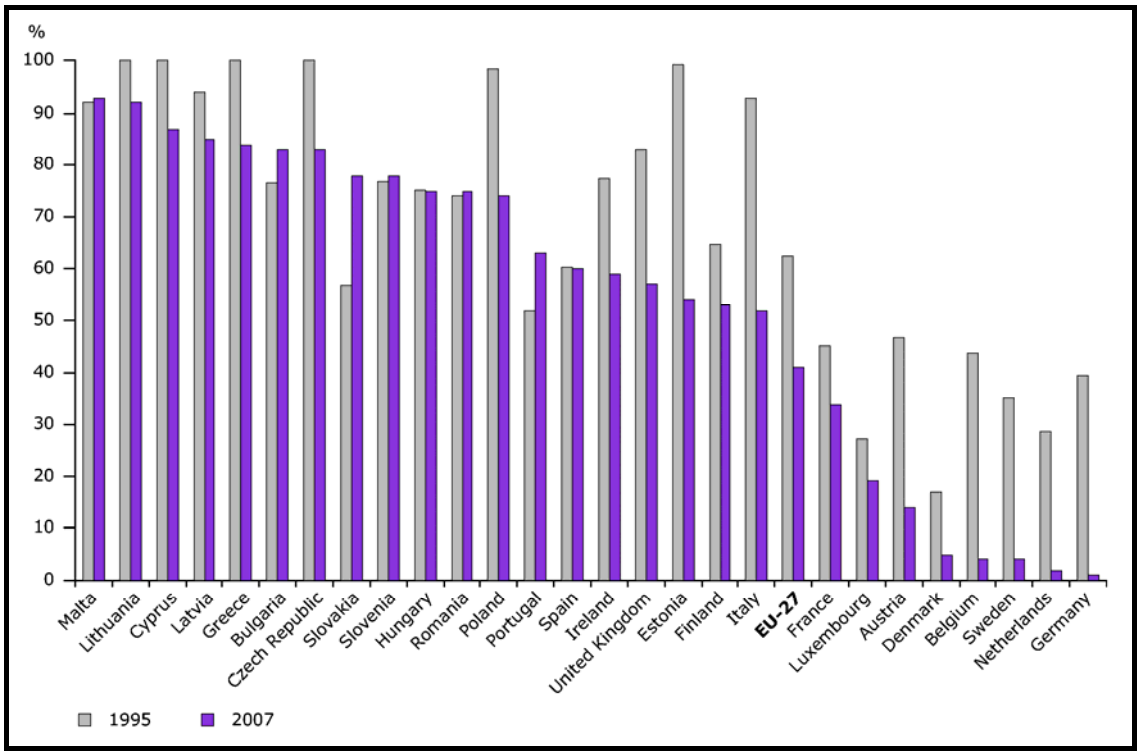

Figura 3.1.2.1. – Percentual de Resíduos Sólidos Urbanos, RSU, enviados para aterros nos países da EU-27, no ano de 1995 e no ano de 2007. **Fonte:** EEA, 2009.

Pela figura é possível identificar os países que estão na vanguarda das ações no que diz respeito à diversificação da utilização dos aterros. Os maiores destaques são para a Alemanha, a Holanda, a Suécia e a Bélgica, que reduziram 90% ou mais a

quantidade de resíduos enviados para os aterros neste período de apenas 12 anos, representando uma mudança muito significativa. Outros países como a Dinamarca, Áustria e Luxemburgo também merecem destaque por já apresentarem baixas taxas de aterragem desde o ano de 1995. A Itália e a Estônia também se destacaram pela queda brusca nesta taxa no período, porém ainda enviam uma quantidade muito elevada para os aterros, acima da média da EU-27, de pouco mais de 40%.

Após a promulgação da diretiva dos aterros em 1999, o fechamento dos aterros que não atendem às exigências mínimas de operação previstas na Diretiva dos Aterros foi um fator bastante preponderante na diversificação da utilização de aterros, forçando o surgimento de novas opções para a destinação dos RSUs. De acordo com a figura 3.1.2.1., nos últimos 10-15 anos o número de aterros reduziu drasticamente em algumas regiões da Europa. A maioria dos encerramentos aconteceu em lixões e aterros com baixos padrões de operação. Os dados referentes ao número de aterros em funcionamento atualmente nos Estados Membros da UE são escassos, mas pode-se observar esta evolução no número de aterros em alguns países da UE pelo gráfico da figura 3.1.2.2..

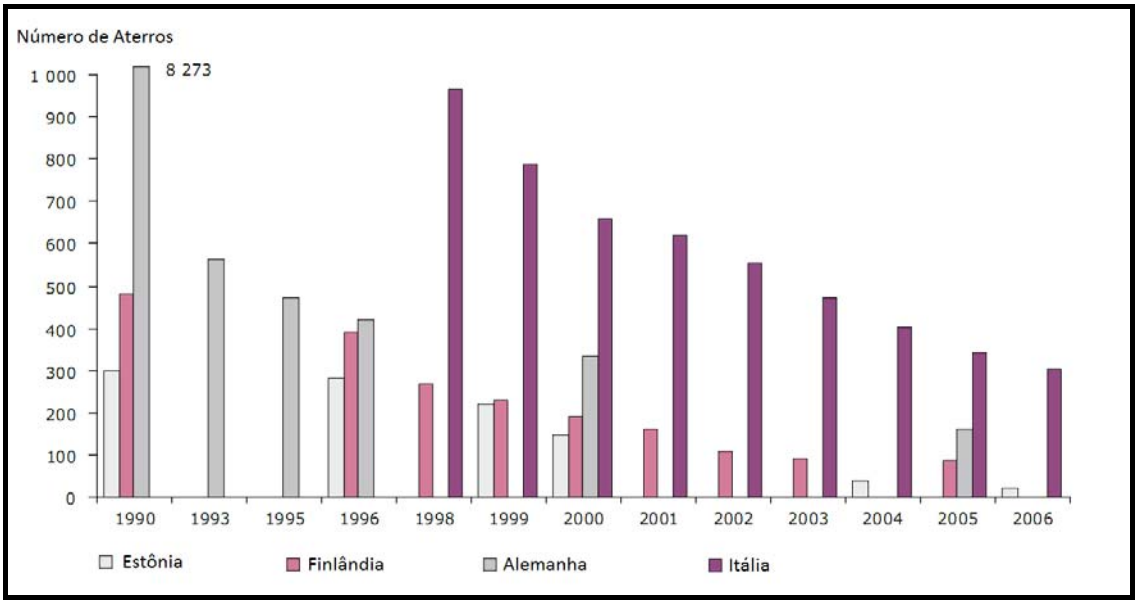

Figura 3.1.2.2. - Desenvolvimento do Número de Aterros para resíduos municipais não-perigosos em quatro Estados Membros da UE. **Fonte:** EEA, 2009.

Apesar dos dados da figura 3.1.2.2. não estarem completos, faltando dados de alguns países em determinados anos, é possível observar que:

- A Alemanha foi o país com a maior redução na quantidade de aterros em operação do ano de 1990 para o ano de 2005, reduzindo de 8273, para menos de 200 aterros, uma redução de cerca de 98%.

- A Itália, a Estônia e a Finlândia seguiram a tendência apresentada pela Alemanha, reduzindo de forma continua e regular a quantidade de aterros operantes, porém as mesmas não tiveram uma redução tão acentuada como a apresentada pela Alemanha.

Os dados apresentados nas figuras 3.1.2.1. e 3.1.2.2. ratificam a queda brusca na utilização dos aterros por parte dos países que compõem a União Européia. A figura 3.1.2.1. mostrou claramente a redução nas proporções das quantidades de resíduos enviados aos aterros, e a figura 3.1.2.2. mostra a redução numérica expressiva do número de aterros operantes em diferentes países da Europa.

A diretiva dos aterros também prevê um prazo diferenciado para a adequação dos aterros já existentes antes da existência das novas normas. Este prazo expirou em 16 de Julho de 2009. Após esta data, os estados membros da UE foram obrigados a fechar todos os aterros e lixões que não se adequaram às exigências determinadas.

Mesmo tendo a maior parte de seus aterros fechado, os países membros da UE ainda possuem um significativo potencial remanescente de aterros para recepção de resíduos. Porém, este potencial tende cada vez mais a diminuir, até sua possível total extinção, uma vez que a abertura de novos aterros é mais raro de ocorrer. Pode-se observar pela figura 3.1.2.3. que, dependendo da taxa de envio de resíduos para os aterros, e a quantidade de aterros ainda presentes, existe uma grande variação na capacidade remanescente para recepção de resíduos pelos aterros ainda restantes em alguns países da Europa.

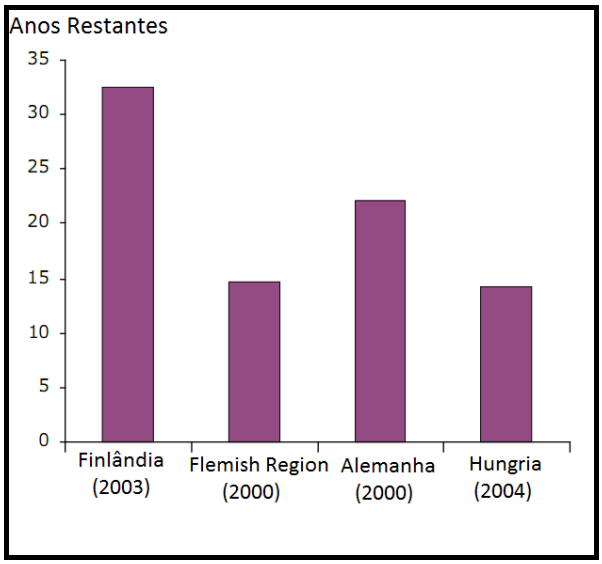

Figura 3.1.2.3. - Capacidade remanescente dos aterros para resíduos urbanos: anos restantes utilizando a taxa atual de utilização dos aterros. **Fonte**: EEA, 2009.

As previsões apresentadas de tempo de vida remanescente dos aterros nos países (figura 3.1.2.3.) são calculadas com base na quantidade de resíduos que o país envia para o aterro. Considerando que a tendência para os próximos anos é a redução da quantidade total de resíduos enviado para os aterros, estes aterros poderão ter sua vida estendida ainda mais, uma vez que o tempo de vida do aterro é inversamente proporcional à quantidade de resíduos enviados diariamente ao aterro.

3.1.3. ALEMANHA

a) Legislação

Segundo a constituição alemã, a gestão de resíduos pertence ao campo da legislação vigente. Isso significa que o governo federal deve adotar uma legislação de gestão de resíduos ao nível nacional. A competência dos estados federados e das províncias/distritos fica restrita aos campos onde não exista uma legislação federal. O resultado é que, sob a legislação nacional de resíduos, cada Estado Federal tem a sua legislação própria de gestão/regulamentação de resíduos. Salvo disposição contrária, prevista na legislação nacional, os resíduos provenientes das residência ficarão sob a responsabilidade do Estado Federal, que delegará a gestão concreta do lixo doméstico para os distritos/regiões e municípios.

Uma das diversas formas de se reduzir a quantidade de resíduos enviados para os aterros é através da limitação da carga orgânica do resíduo enviado ao aterro. A Alemanha escolheu justamente esta como a sua principal estratégia na redução do

uso dos aterros para destinação dos RSUs. Foi iniciado um banimento dos aterros para se atingir esta meta. Este banimento foi iniciado em duas etapas, uma em 1993 com o regulamento administrativo *Technical Instructions on Waste from Human Settlements* (TASi), e a segunda em 2001 com a portaria relativa ao Armazenamento Ambientalmente Compatível para os resíduos residenciais**,** ou *Waste Storage Ordinance* (AbfAbIV). Ambas serão descritas em mais detalhes a seguir (EEA, 2009).

A primeira das duas etapas dentro da legislação alemã para o banimento dos aterros foi um regulamento administrativo, o *Technical Instructions on Waste from Human Settlements* (TASi), que entrou em vigor em junho de 1993. Seu objetivo era o de garantir que os aterros pela Alemanha fossem ambientalmente seguros no longo prazo, requerendo o mínimo possível de cuidados no pós-fechamento. Neste regulamento ficaram estabelecidos requisitos referentes à localização, projeto e operação dos aterros, e também da composição dos resíduos aterrados, limitando o conteúdo orgânico do resíduo enviado para o aterro em menos de 3% de Carbono Orgânico Total (TOC - *Total Organic Carbon*) (EEA, 2009). Este regulamento admnistrativo (TASi) foi editado 6 anos antes da diretiva dos aterros da União Européia, mostrando ser uma iniciativa de pro atividade da Alemanha no que diz respeito ao gerenciamento de resíduos.

Dentro dos aspectos do projeto do aterro previsto no TASi, utilizou-se uma abordagem de multi-barreiras, combinando 4 componentes de barreira para a proteção do solo, dos corpos hídricos e da atmosfera - a barreira geológica, a de revestimento, a de resíduos e a de cobertura - para uma contenção duradoura dos resíduos, e utilizou a composição dos próprios resíduos como uma barreia por si só. A fim de atingir a composição determinada, os resíduos com componentes biologicamente degradáveis - em grande parte os resíduos domésticos, mas também resíduos comerciais com composição similar ao doméstico e lodo de esgoto - deveriam receber um tratamento antes de serem aterrados, para garantir sua inertização e também sua estabilização.

O TASi, talvez pelo fato de ter sido uma iniciativa pioneira da legislação alemã e mundial neste tema, possuía algumas falhas na sua elaboração. Um desses problemas foi que este regulamento administrativo não prescreveu quais métodos de pré-tratamento deveriam utilizados para se atingir a meta estabelecida de redução da carga orgânica. A partir disso, quando entrou em vigor em 1993, os seus rigorosos requisitos não puderam ser alcançados com a tecnologia para o tratamento mecânico biológico disponível da época, e assim os requisitos de redução só poderiam ser

alcançados através dos tratamentos térmicos, como a incineração. Considerando o cenário formado após a publicação da TASi, no intuito de possibilitar a adequação da infraestrutura do gerenciamento de resíduos no país às novas regras, as autoridades competentes concederam diversas permissões/exceções para a deposição dos resíduos sem tratamento prévio nos aterros por um período de no máximo 12 anos, ou seja, até o ano de 2005 (EEA, 2009).

Antes do fim deste prazo, em março de 2001, surgiu então uma nova peça na legislação alemã, a portaria relativa ao Armazenamento Ambientalmente Compatível para os resíduos das residências**,** ou *Waste Storage Ordinance* (AbfAbIV). Nela ficaram determinadas modificações que se tornaram necessárias à TASi e assim foram "reparadas" as "partes frágeis" da TASi original, promulgada quase 10 anos antes. Além disso, esta regulamentação de 2001 também serviu para transpor as novas diretrizes da diretiva sobre a disposição de resíduos sólidos urbanos nos aterros (1999/31/CE) da união européia, recém promulgada (BMU, 2006).

Basicamente, a AbfAbIV manteve as exigências estritas na aterragem de resíduos, no seu projeto e na sua operação, que foram estabelecidas na TASi em 1993. Porém, estas exigências ganharam mais força legal, impondo uma obrigação jurídica direta sobre os responsáveis pelos resíduos e pelos operadores de aterros. As exceções, até então permitidas para a aterragem de resíduos sem tratamento prévio, após 1º de Junho de 2005 não foram mais admitidas. Com isso, qualquer exceção concedida previamente garantida expirava automaticamente a partir desta data limite (BMU, 2006).

A chamada *Waste Storage Ordinance* do nome completo, *Ordinance on Environmentally Compatible Storage of Waste from Human Settlements,* (*Abfallablagerungsverordnung* – AbfAblV), é composta por 7 artigos e mais 4 anexos.

O artigo primeiro se limita a determinar o escopo de aplicação desta portaria, tanto no âmbito do tipo de resíduo, como a dos responsáveis pelo gerenciamento destes resíduos. No artigo nº 2 são definidos os termos usados no ato administrativo em questão.

O artigo terceiro, sobre os requisitos gerais relativos ao armazenamento, determina que estes resíduos, oriundos das residências, devem ser dispostos nos aterros de classe I e II.

- Aterro classe I é o aterro exclusivo para resíduos que contenham uma baixa carga orgânica na composição e que possuam um baixo potencial poluidor no teste de produção de percolado.

- Aterro classe II é o aterro exclusivo para resíduos que contenham uma alta carga orgânica na composição, principalmente resíduos oriundos de tratamento mecânico biológico, e que possuam um alto potencial poluidor no teste de produção de percolado, para compensar este tipo de aterro está sujeito a requisitos operacionais mais estritos.

Além deste, outros critérios estão descritos no artigo 3, inclusive a classificação dos resíduos que podem ser dispostos no aterro, que deve estar em acordo com o Anexo I e com os seus critérios de classificação.

O artigo 4 descreve os requisitos relativos ao armazenamento de resíduos que foram mecanicamente e biologicamente tratados. Neste caso, eles devem ser dispostos apenas em aterros classificados como classe II. Por este artigo também ficou determinado que o resíduo deve respeitar as características especificadas no Anexo II (Critérios para alocação de aterros classe II). Além disto, no anexo III da portaria são apresentados os requisitos referentes à aterragem dos resíduos oriundos de tratamentos mecânicos biológicos.

O quinto artigo trata das obrigações relativas ao controle e apresentação de provas, ou seja, de todo os procedimentos de controle e comprovação dos resíduos que entram no aterro para serem dispostos. Esta checagem deve conter no mínimo uma inspeção visual, que confere a aparência, consistência, cor e cheiro do resíduo, uma quantificação da massa de resíduos e a sua classificação quanto ao tipo.

No artigo 6 estão discriminadas as disposições transitórias, ou seja, as datas específicas de início da validade de algumas exigências presentes na portaria em questão. Por fim, o 7º artigo trata das infrações administrativas..

Os anexos presentes nesta portaria, como já dito anteriormente, são 4:

- **Anexo I**: sobre os critérios de alocação dos aterros (localização)

- **Anexo II**: sobre critérios de alocação dos aterros para resíduos pré-tratados em uma planta de tratamento mecânico biológico.

- **Anexo III**: sobre os requisitos para a armazenagem e operação de aterragem.

- **Anexo IV**: sobre os procedimentos de amostragem e análises.

b) Estado da Arte (Implantação)

Na Alemanha, no início dos anos 70 cada cidade e cada vilarejo possuía o seu próprio local para a realização da aterragem – cerca de 50 mil "aterros" distribuídos por toda a Alemanha. Durante as décadas de 80 e 90 o número de aterros foi drasticamente reduzido para menos de 2 mil, e a criação e funcionamento destes locais foram submetidos a regras restritivas e a regulamentações. A maior parte dos aterros antigos para RSU foram fechados (BMU, 2007). Dados de BMU (2010) revelam que em 2007 apenas 160 aterros para RSU estavam em operação na Alemanha (conhecidos como Aterros Classe II), como mostra a figura 3.1.3.1.. No outro sentido, o número de plantas de incineração, plantas de tratamento mecânico-biológico ou de outros tratamentos para RSU cresceram e têm crescido consideravelmente desde então (BMU, 2007).

Figura 3.1.3.1. – Evolução do número de aterros para resíduos sólidos urbanos (RSU) na Alemanha, de 1993 até 2007. **Fonte:** BMU, 2010.

O banimento da aterragem de resíduos com um conteúdo orgânico maior do que 3% adotado a partir de 1993 através do regulamento administrativo (TASi) reduziu drasticamente o número de aterros operantes após esta data. Porém as lacunas existentes na legislação foram preenchidas em 2001 com a *Waste Storage Ordinance*,

que restabeleceu uma data limite (1º de junho de 2005) para a implementação do *landfill ban*.

Através da tabela 3.1.3.1. pode-se observar a evolução do número total de aterros em toda a Alemanha, e na Alemanha Oriental exclusivamente, do ano de 1990 até o ano de 2000. Pela tabela pode-se observar uma significativa redução deste número entre os anos de 1990 e 1993, quando entrou em vigor o TASi, que reduziu de 8.273 para 562 aterros, uma redução superior do que 90% em apenas três anos. Esta tabela comprova a eficácia do regulamento administrativo TASi no processo de redução da utilização dos aterros na Alemanha, apesar da existência de algumas falhas do regulamento em outros aspectos.

Tabela 3.1.3.1. - Número de Aterros de Resíduos Sólidos Urbano no período entre 1990 e 2000.

Ano	**1990**	**1993**	**1995**	**1998**	**2000**
Aterros Alemanha	8.273	562	472	421	333
Aterros Alemanha Oriental	7.983	292	202	179	--

Fonte: BMU, 2006.

Os dados apresentados na figura 3.1.3.1. complementam os dados apresentados na tabela 3.1.3.1., que mostra a evolução no número de aterros de resíduos sólidos em funcionamento na Alemanha a partir de 1993 até o ano 2007. Pelos números apresentados na figura 3.1.3.1. é possível observar dois períodos distintos, o primeiro período compreende desde o ano de 1993, até o ano de 2004, um período que houve uma redução significativa no número de aterros, de 562 para 297, uma redução de aproximadamente 48% no número de aterros em um período de 11 anos. O segundo período, entre o ano de 2004 e 2007, o qual compreende a época em que ocorreu o banimento total da aterragem de resíduos sem tratamento prévio, o número de aterros foi reduzido de 297 em 2004, para 160 em 2007, uma redução radical de aproximadamente 46% em um período de apenas três anos. Estes números confirmam a importância e a eficácia de ferramentas legais e administrativas no suporte ao gerenciamento dos RSU.

Além da redução no número de aterros em atividade na Alemanha, mostrada anteriormente, também pode se perceber esta redução no uso dos aterros através da evolução da quantidade em massa dos resíduos sólidos urbanos que foram destinados a aterros através da figura 3.1.3.2.. De acordo com os dados da figura 3.1.3.2., no ano de 1995 foram enviados para os aterros cerca de 20 milhões de toneladas de RSU, correspondendo a 40% de todo o RSU produzido na Alemanha. No

entanto, no ano de 2006 a quantidade total de RSU enviado para os aterros foi inferior a 0,5 milhão de tonelada, correspondendo a menos de 1% do resíduo produzido na Alemanha naquele ano.

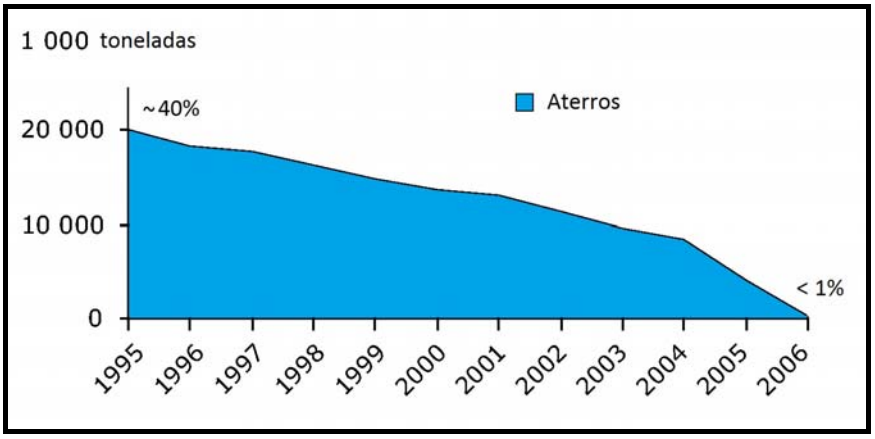

Figura 3.1.3.2. – Quantidade em massa de RSU destinados a aterros na Alemanha de 1995 a 2006. **Fonte:** EEA, 2009.

Assim como a quantidade de aterros em operação na Alemanha, o montante total de RSU enviado para aterros no ano de 2006, comparado ao ano de 1995, sofreu uma queda brusca devido principalmente a um fator, a política de banimento do envio de RSU para aterros sanitários sem um pré-tratamento adequado, podendo este pré-tratamento ser uma coleta seletiva, um tratamento mecânico biológico em biodigestores, a incineração ou a co-incineração etc.

3.2. INCINERADORES

3.2.1. EUA

a) Legislação

Nos EUA, a legislação pertinente ao uso dos incineradores se resume a algumas subpartes da parte 40CFR60 do Código de Regulamentos Federais (CFR). A parte 40CFR60 determina os padrões de desempenho para as emissões de novas fontes fixas. Os parâmetros de emissão para os Combustores de Resíduos Municipais (CRM) foram promulgados pela primeira vez em 1995 e implementado apenas no ano de 2000. As seções 111 e 129 do *Clean Air Act* (CAA) dos EUA prevêem que esses padrões e limites de emissões para fontes fixas sejam revisados a cada cinco anos.

A seção 129 do *Clean Air Act*, intitulada como “Combustão de Resíduos Sólidos”, exige que a US EPA (Agência de Proteção Ambiental Americana) desenvolva e adote

Padrões de Desempenho para Novas Fontes (*New Source Performance Standards – NSPS*) e diretrizes de emissão para as unidades de incineração de resíduos sólidos, nos termos da seção 111 e 129 do CAA.

A seção 111(b) do CAA é específica sobre as emissões das novas unidades de Combustores de Resíduos Municipais (CRM), já a seção 111(d) do CAA é específica sobre as emissões de unidades de Combustores de Resíduos Municipais já existentes. Em dezembro de 1995 a US EPA adotou a NSPS e as diretrizes de emissões para os CRMs com a capacidade de processamento superior a 250 toneladas por dia. Esses CRMs são chamados de grandes unidades de CRM. Tanto a NSPS, como as diretrizes de emissões, precisam estar de acordo com os limites de emissão que reflita o desempenho da melhor tecnologia disponível, ou BAT(*Best Available Technology*).

Como explicado anteriormente, os títulos que compõem o Código de Regulamentos Federais (CFR) são atualizados periodicamente, realizando-se as alterações e inclusões necessárias. Na revisão de 10 de Maio de 2006 da 40CFR60 alteraram-se os limites de emissão dos seguintes poluentes: Dioxinas, Cádmio, Chumbo, Mercúrio e Material Particulado. A tabela 3.2.1.1. apresenta de forma resumida os poluentes revisados previstos na atualização da 40CFR60 de 10 de Maio de 2006. Nesta tabela estão descritos os poluentes abordados e seus respectivos valores de emissão revisados, tanto para fontes já existentes de CRMs, como para as novas fontes.

Tabela 3.2.1.1. – Emissões finais para grandes unidades para os Combustores de Resíduos Municipais (CRM), com limites para unidades existentes e também para novas unidades.

Poluente	Limite de emissão para **unidades existentes** de CRMs[a]	Limite de emissão para **novas unidades** de CRMs
Dioxina/Furano	30 ng/m^3 a 35 ng/m^3 padrão seco	13 ng/m^3 padrão seco
Cádmio (Cd)	35 µg/m^3 padrão seco	10 µg/m^3 padrão seco
Chumbo (Pb)	400 µg/m^3 padrão seco	140 µg/m^3 padrão seco
Mercúrio (Hg)	50 µg/m^3 padrão seco ou 85% de redução de emissão	50 µg/m^3 padrão seco ou 85% de redução de emissão
Material Particulado (MP)	25 mg/m^3 padrão seco	20 mg/m^3 padrão seco
Ácido clorídrico (HCl)	29 ppm/m^3 padrão seco ou 95% de redução da emissão	20 ppm/m^3 padrão seco (30 mg/Nm^3) ou 95% de redução da emissão
Dióxido de enxofre (SO_2)	29 ppm/m^3 padrão seco ou 75% de redução da emissão	30 ppm/m^3 padrão seco (85 mg/Nm^3) m ou 80% de redução da emissão
Óxidos nitrosos (NO_X)	Varia de acordo com o tipo de combustor	180 ppm de volume seco e 150 ppm de volume seco (305 mg/Nm^3) após do primeiro ano de operação

Fonte: 40 CFR part 60 Subparte Eb de 10 de maio de 2006. **Nota:** [a] Todas as emissões são medidas a 7% de oxigênio.

Para as unidades de combustão de resíduos municipais (CRM) classificadas como “pequenas”, ou seja, que foram projetados para uma capacidade de combustão entre 35 e 250 toneladas de resíduo sólido urbano por dia, o controle e regulamentação das emissões é feita separadamente por um plano federal, também emitido pela Agência de Proteção Ambiental (EPA), a 40CFR62 de 31 de Janeiro de 2003. O 40CFR62 somente engloba as unidades já existentes, ou seja, as unidades construídas até 30 de agosto de 1999, de “pequenas” unidades de CRMs que estiverem localizadas em áreas não cobertas por um plano de estado ou local já aprovado. A tabela 3.2.1.2. resume o limite de emissões para essas pequenas unidades CRM.

Tabela 3.2.1.2. – Limites de emissões para unidades existentes de pequenos Combustores de Resíduos Municipais (35 - 250 ton/dia) .

Poluente	**Limite de emissão para unidades existentes de "pequenos" CRMs.**
Dioxina/Furano	30 ng/m^3 padrão seco para unidades sem o sistema de controle de emissões baseado no precipitador eletroestático - ou – 60 ng/m^3 padrão seco para unidades que utilizem este sistema
Cádmio (Cd)	40 µg/m^3 padrão seco
Chumbo (Pb)	490 µg/m^3 padrão seco
Mercúrio (Hg)	80 µg/m^3 padrão seco ou 85% de redução de emissão
Opacidade	10 %
Material Particulado (MP)	27 mg/m^3 padrão seco
Ácido clorídrico (HCl)	29 ppm/m^3 padrão seco ou 95% de redução da emissão
Dióxido de enxofre (SO_2)	29 ppm/m^3 padrão seco ou 75% de redução da emissão
Cinzas fugitivas	Emissão visível não mais de 5%

Fonte: 40CFR62 de 31 de janeiro de 2003. **Nota:** [a] Todas as emissões são medidas a 7% de oxigênio, exceto a Opacidade.

b) Estado da Arte (Implantação)

A primeira planta de incineração de larga escala operada por um município nos EUA foi a planta de recuperação de recursos "Arnold O. Chantland", construída em 1975 e localizada em Ames, Iowa. Esta planta continua em operação até os dias de hoje e atualmente produz *refuse-derived fuel* para ser enviado para plantas de energia e usado como combustível (AMES CITY, 2010). A primeira planta de incineração *Waste to Energy* comercialmente viável nos EUA foi construída em Saugus, Massachussets em Outubro de 1975 pela empresa *Wheelabrator Technologies* e continua em operação até os dias de hoje (ISWA, 2010).

Diversas plantas de incineração que utilizavam tecnologias ultrapassadas foram fechadas nos EUA: das 186 plantas de incineração de RSU existentes em 1990, apenas 89 permaneceram no ano de 2007, e dos 6200 incineradores de resíduos hospitalares existentes no ano de 1988, apenas 115 permaneceram em atividade até 2003. Nenhum novo incinerador foi construído entre 1996 e 2007 (PSOMOPOLUS, 2009). As principais razões para a redução do uso de incineradores foram:

- Econômicas: com o crescimento do número de grandes aterros regionais com baixo custo e, mais recentemente, devido valor baixo da energia elétrica, os incineradores deixaram de ser competitivos no processamento dos RSUs nos EUA.

- Políticas fiscais: incentivos fiscais para centrais produtoras de eletricidade a partir de resíduos foram revogadas nos EUA entre 1990 e 2004, reduzindo muito o estímulo econômico da atividade de incineração com o aproveitamento energético.

Após um determinado tempo, os interesses na incineração e em outras tecnologias *Waste to Energy* foram renovados nos EUA e no Canadá. Por exemplo, em 2004 nos EUA a incineração foi qualificada como atividade geradora de Energia Renovável, recebendo novamente incentivos fiscais (PSOMOPOLUS, 2009). Projetos para aumentar a capacidade existente das plantas estão em andamento, e os governos municipais estão avaliando novamente a opção de construção de plantas de incineração ao invés de continuar a deposição dos RSU em aterros. Porém, muitos desses projetos tem se deparado com uma continua oposição política, mesmo com os argumentos renovados sobre os benefícios dos incineradores em relação à emissão de gases de efeito estufa (comparado aos aterros), sobre os equipamentos de poluição do ar e sobre as melhorias no processo de reciclagem das cinzas de incineração.

De acordo com MICHAELS (2010), os EUA possuem 86 plantas de incineração *Waste to Energy* com uma capacidade instalada para incinerar de 35,4 milhões de toneladas de RSU ao ano.Um outro estudo, de SIMMONS (2006) mostrou que a geração de resíduos sólidos nos EUA cresceu a uma taxa de 2,5% ao ano no período de 2002 a 2004. Como visto na parte relativa aos aterros, no ano de 2007 o total de RSUs enviado aos aterros sanitários correspondeu a 54% do total gerado (US EPA, 2008). A reciclagem neste mesmo período foi utilizada para destinar 33% do total dos RSUs gerados. O tratamento térmico, com a geração de eletricidade (WTE), foi utilizado para a destinação de 13% dos RSUs.

Para PSOMOPOULOS *et al.* (2009), além dos fatores supracitados (econômicos e políticas fiscais), os incineradores pararam de ser construídos no período entre 1996 e 2007 em função das pressões causadas por fatores ambientais. No passado, o foco principal de preocupação dos grupos ambientalistas estava voltado para as emissões dos poluentes no ar, especialmente dioxinas/furanos e metais pesados, porém, após a agência de proteção ambiental americana (US EPA) implementar uma regulamentação obrigando o uso da melhor tecnologia disponível de controle (MACT –

maximum available control technology) nos anos 90, as emissões das plantas WTE se reduziram ao ponto que, em 2003, a US EPA declarou a incineração WTE como sendo uma fonte de energia das mais limpas dos EUA (US EPA, 2003). A tabela 3.2.1.3. apresenta a quantidade das emissões dos principais poluentes emitidos pelas plantas de incineração *Waste to Energy* nos EUA, no ano de 1990 e no ano 2000, mostrando também a redução em % destas emissões entre os 2 períodos analisados.

Tabela 3.2.1.3 – Emissões de instalações WTE nos EUA e a redução em % das emissões.

Poluente	Emissão anual em **1990**	Emissão anual em **2000**	Redução (%)
Dioxinas/Furanos, g TEG	4260 g	12 g	99,7
Mercúrio	41,1 toneladas	2,0 toneladas	95,1
Cádmio	4,32 toneladas	0,3 toneladas	93,0
Chumbo	47,4 toneladas	4,33 toneladas	90,9
Ácido Hidroclorídrico	42,636 toneladas	2429 toneladas	94,3
Dióxido de Enxofre	27,909 toneladas	3705 toneladas	86,7
Material Particulado	6300 toneladas	643 toneladas	89,8

Fonte: STEVENSON, 2002.

De acordo com os dados da tabela 3.2.1.3., observa-se que as dioxinas/furanos e os metais pesados, ou seja, os poluentes de maior impacto na saúde humana, foram os que apresentaram maior redução nas suas emissões neste período. Porém, mesmo apresentando uma redução próxima à de 100% (99,7%), as dioxinas e os furanos continuam sendo uma grande preocupação quanto ao uso dos incineradores para o tratamento dos RSUs. As dioxinas e os furanos são substancias produzidas pelo homem e que estão entre as substâncias mais nocivas à saúde.

Fazendo agora uma análise regional dos EUA, olhando agora para suas diferentes regiões, pode-se observar algumas diferenças no gerenciamento dos RSU entre elas, como mostra a figura 3.2.1.1.. Assim, observa-se que os estados costeiros, de forma geral, apresentam uma taxa de reciclagem maior do que a praticada nos estados do interior do país. Pode-se observar também que a maior parte das plantas WTE se encontra na costa leste, correspondendo a 66% da capacidade total de plantas WTE dos EUA.

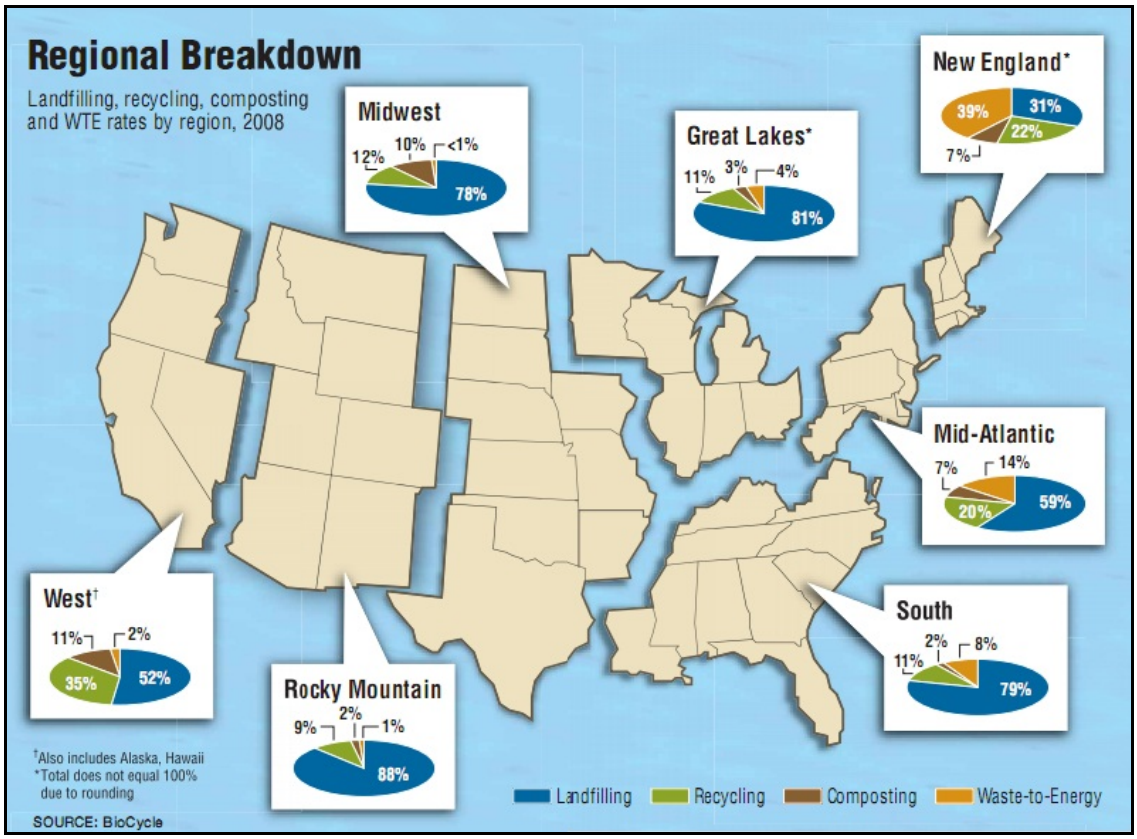

Figura 3.2.1.1. – Divisão regional das disposições dos RSU nos EUA no ano de 2004. **Fonte:** HAAREN, 2010.

Ainda olhando para a figura 3.2.1.1., observa-se que a região com a maior taxa de incineração de resíduos em plantas WTE é a região de *New England*, apresentando uma taxa de 39%, ou seja, a mesma apresentada por países com as maiores taxas de utilização da incineração no mundo, como é o caso da Alemanha. A proporção de resíduos incinerados na região de *New England*, quando comparada com a proporção nacional americana, de 7,4% (US EPA, 2008), evidencia ainda mais as diferenças regionais nas práticas de gerenciamento de resíduos nos EUA (SIMMONS *et al.*, 2006).

Na mesma figura (3.2.1.1.), comparando agora as taxas de aterragem da costa leste, de forma geral, com as regiões centrais do país e a costa oeste, observa-se que a taxa de aterragem é inferior na costa leste em comparação às outras regiões e inclusive à média nacional, que é de 54%. Naturalmente, como dito anteriormente, tendo maiores taxas de incineração nos estados da costa leste, conseqüentemente existirão mais plantas de incineração nestes estados e como conseqüência é praticada com menor intensidade a aterragem de resíduos.

Na figura 3.2.1.2. pode-se observar como estão distribuídas numericamente as plantas de incineração pelos estados americanos. Na figura somente enumera os estados que

realizam a incineração de RSU, os demais estados não possuem nenhuma planta em funcionamento.

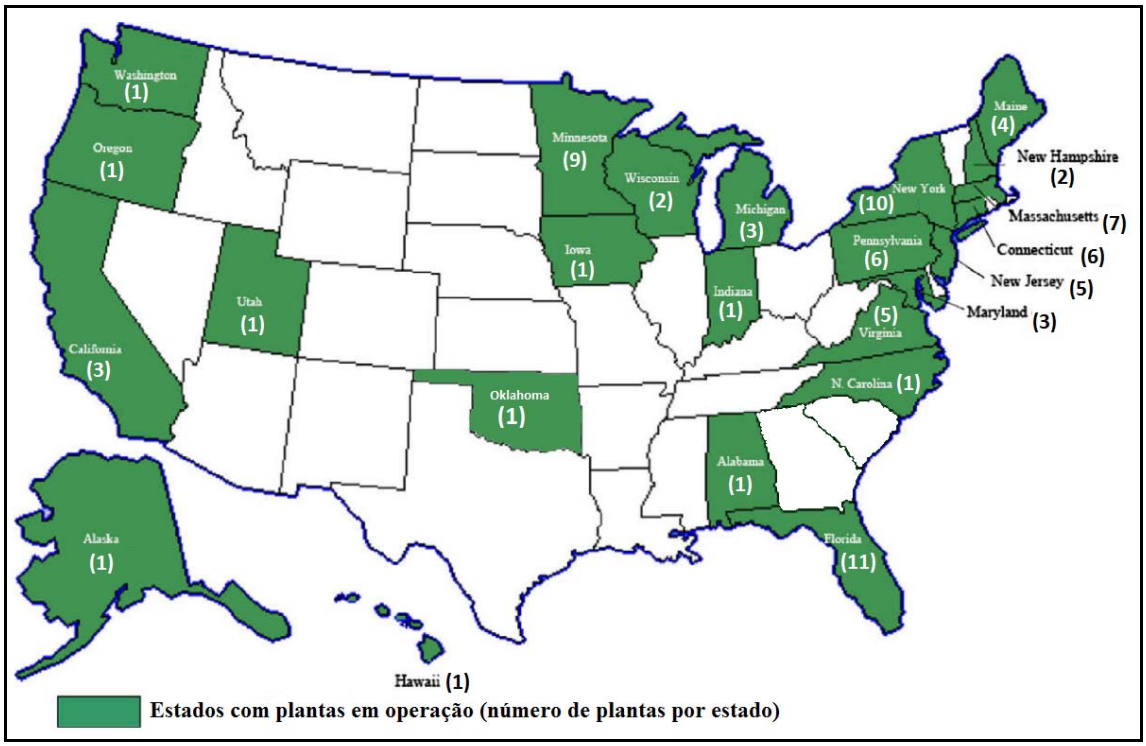

Figura 3.2.1.2. – Plantas de Incineração (WTE) em operação nos EUA. **Fonte:** MICHAELS, 2010.

De acordo com a figura 3.2.1.2., em 2010 haviam 24 estados americanos com uma ou mais plantas de incineração *Waste to Energy* em operação. Em 2008, essas plantas foram abastecidas por 26 milhões de toneladas de RSU no ano. Essas plantas possuem juntas uma capacidade instalada de geração de cerca de 2600 MW de energia elétrica.

As instalações que realizam tratamento térmico nos EUA construídas no século XXI utilizam em sua maioria a tecnologia fornos de grade (*Grate firing*), apresentada no capítulo 3. As plantas de incineração nos EUA utilizam este tipo de tecnologia para o tratamento do RSU em escala industrial, sendo esta tecnologia dominante devido a sua relativa simplicidade tecnológica e operacional e também o seu baixo custo de instalação e operação. Segundo MICHAELS (2007), nos Estados Unidos esta tecnologia representava 80% da capacidade total de incineração, 80 das 87 plantas que estavam em operação nos EUA naquele ano.

Os dados da tabela 3.2.1.4. mostram que em 2002 as plantas WTE nos EUA geraram um total de 13,5 x 10^9 kWh de energia elétrica, mais energia do que qualquer outra fonte de energia renovável, com exceção da energia hidroelétrica e da geotérmica. A tabela 3.2.1.4. apresenta dados das principais fontes de energia renováveis que são

produzidas nos EUA, com o total produzido no ano de 2002 para cada uma das energias, e o percentual que cada tipo de energia representa no total produzido de energia renovável no país.

Tabela 3.2.1.4. – Geração de energia renovável nos EUA no ano de 2002, excluindo a energia hidroelétrica.

Fonte de Energia	kWh x 10^9 gerado	% das energias renováveis
Geotermica	13,52	28,0
Waste to energy	13,50	28,0
Gás de Aterro	6,65	13,8
Madeira/Biomassa	8,37	17,4
Solar (Térmica)	0,87	1,8
Solar (Fotovoltáica)	0,01	0,0
Vento	5,3	11,0
Total	48,22	100,0

Fonte: EIA, 2002 *apud* PSOMOPOLUS, 2009.

c) Principais Plantas

De acordo com o diretório de plantas *Waste-to-Energy* de MICHAELS (2010), a capacidade de processamento das plantas WTE nos EUA cresceu pela primeira vez em muitos anos, e além disso, uma capacidade adicional de expansão está em desenvolvimento. Nos últimos 3 anos, três plantas tiveram a expansão de suas unidades da instalação concluídas, além de outras plantas que já têm sua expansão planejada e sobre construção.

A seguir, na tabela 3.2.1.5., estão listadas 4 das maiores plantas de incineração de resíduos sólidos urbanos nos EUA para o ano de 2010 segundo MICHAELS (2010).

Tabela 3.2.1.5. - As maiores plantas de incineração de resíduo sólido urbano dos EUA de acordo com o *Energy Recovery Council* .

Nº	Planta/Localização	Operador	Tons/ano Tons/dia	Observações
1	**Delaware Valley Resource Recovery Facility** Chester, PA	Covanta Delaware Valley, L.P.	1.222.020 3.348	Iniciou operação em 1992. Produz cerca de 90MW de energia elétrica.
2	**Greater Detroit Resource Recovery Facility** Detroit, MI	Covanta Energy Corporation	1.204.500 3.300	Iniciou operação em 1991. Produz cerca de 68MW de energia elétrica e 725.600 libras/hora de vapor.
3	**Pinellas County Resource Recovery Facility** St. Petersburg, FL	Veolia ES Waste-to- Energy, Inc.	1.149.750 3.150	Iniciou operação em 1983. Produz cerca de 75MW de energia elétrica.
4	**I-95 Energy-Resource Recovery Facility (Fairfax)** Lorton, VA	Covanta Fairfax	1.095.000 3.000	Iniciou operação em 1990. Produz cerca de 126MW de energia elétrica.

Fonte: MICHAELS, 2010.

3.2.2. UNIÃO EUROPÉIA

a) Legislação

Como visto nas vantagens e desvantagens do uso dos incineradores apresentadas no capítulo 2, a incineração de resíduos perigosos e também não perigosos ocasiona a emissão de substâncias que poluem a atmosfera, a água e o solo, com efeitos nocivos à saúde humana. A proposta da Diretiva 2000/76/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 4 de Dezembro de 2000, relativa à incineração de resíduos**,** tem por objetivo a prevenção ou redução, na medida do possível, da poluição causada pela incineração de resíduos.

Antes da introdução da diretiva 2000/76/CE, o regime comunitário, em matéria de incineração de resíduos, constava das diretivas 89/369/CEE, 89/429/CEE (instalações existentes e novas de incineração de resíduos urbanos respectivamente) e 94/67/CE (incineração de resíduos perigosos). O artigo 18 da diretiva 2000/76/CE determinou que as 3 diretivas citadas fossem revogadas em 28 de dezembro de 2005.

A última diretiva, 2000/76/CE, tem por objetivo finalizar as lacunas da referida legislação. Além da incineração de resíduos urbanos não perigosos, o seu âmbito de aplicação abrange a incineração de resíduos não urbanos e não perigosos (como as

lamas de estações de tratamento, os pneumáticos e os resíduos hospitalares) e de resíduos perigosos excluídos da diretiva 94/67/CE (nomeadamente os óleos usados e os solventes). Simultaneamente, a diretiva tem em vista integrar na legislação em vigor os progressos técnicos em matéria de controle das emissões dos processos de incineração e garantir o cumprimento dos compromissos internacionais assumidos pela Comunidade para redução da poluição, nomeadamente os relativos à fixação de valores-limite para as emissões de dioxinas, mercúrio e poeiras provocadas pela incineração de resíduos. A diretiva baseia-se numa abordagem integrada: aos valores-limite atualizados para as emissões atmosféricas vêm juntar-se limites relativos às descargas na água.

Contrariamente às Diretivas 89/369/CEE e 89/429/CEE citadas, esta diretiva é aplicável não só às instalações destinadas à incineração[9] de resíduos, como às instalações de co-processamento[10]. Estão excluídas do âmbito de aplicação da diretiva as instalações experimentais destinadas a melhorar o processo de incineração que tratem menos de 50 toneladas de resíduos por ano, bem como as instalações que tratem apenas:

- resíduos vegetais provenientes da agricultura e da silvicultura, da transformação de produtos alimentares e da produção de papel;
- resíduos de madeira;
- resíduos de cortiça;
- resíduos radioativos;
- carcaças de animais;
- resíduos resultantes da exploração de petróleo e de gás e incinerados em instalações *offshore*.

Todas as instalações de incineração ou de co-incineração deverão dispor de uma autorização/licença. Esta licença, emitida por uma autoridade competente, especifica as categorias e as quantidades de resíduos perigosos e não-perigosos que podem ser

[9] **Incineração**: é a queima dos resíduos em fornos e usinas próprias, dedicadas. Apresenta a vantagem de reduzir bastante o volume de resíduos e desinfectá-lo contra agentes patógenos, como o caso dos resíduos hospitalares.

[10] **Co-processamento**: técnica de disposição/tratamento de resíduos e efluentes que utilizam os fornos rotativos de cimenteiras para destruir termicamente o resíduo ou efluente. Neste processo, além do resíduo ser utilizado como matéria prima no processo de formação do clínquer, o resíduo substitui parte do combustível utilizado originalmente neste processo, reduzindo o consumo de combustíveis fósseis.

tratados, a capacidade de incineração ou de co-incineração da instalação e os procedimentos de amostragem e medição que vão ser utilizados.

Os operadores das instalações das plantas de incineração ou co-incineração de resíduos devem conhecer as informações administrativas sobre o processo de geração, a composição física e química dos resíduos perigosos e os riscos inerentes a estes resíduos antes de os receberem.

A fim de garantir a combustão total dos resíduos, a diretiva prevê a obrigação de todas as instalações manterem os gases resultantes da incineração e da co-incineração a uma temperatura mínima de 850 ºC durante pelo menos por 2 segundos. Caso se trate de resíduos perigosos com um teor de substâncias orgânicas halogenadas, expresso em cloro, superior a 1%, a temperatura deve atingir 1100 ºC durante pelo menos 2 segundos. O calor resultante do processo de incineração deverá, tanto quanto possível, ser valorizado.

Os valores-limite das emissões para a atmosfera das instalações de incineração estão indicados na tabela 3.2.2.1. (anexo V da diretiva). Nela estão os limites de emissão para os metais pesados, dioxinas e furanos, monóxido de carbono (CO), poeiras, carbono orgânico total (COT), cloreto de hidrogênio (HCl), fluoreto de hidrogênio (HF), dióxido de enxofre (SO_2), monóxido de azoto (NO) e dióxido de azoto (NO_2).

Tabela 3.2.2.1. - Valores limites de emissão de poluentes para as plantas de incineração segundo a Diretiva da União Européia 2000/76/CE.

Poluentes	**Limite**
Dioxinas e Furanos	0,1 ng/m^3
Material Particulado	10 mg/m^3
Substâncias Orgânicas em estado gasoso e de vapor, expressa em carbono orgânico total	10 mg/m^3
Cloreto de Hidrogênio (HCl)	10 mg/m^3
Fluoreto de Hidrogênio (HF)	1 mg/m^3
Dióxido de Enxofre (SO_2)	50 mg/m^3
Monóxido de Nitrogênio (NO) e Dióxido de Nitrogênio (NO_2) expressos como dióxido de nitrogênio, para instalações existentes de capacidade nominal superior a 6 ton/hora, ou para instalações novas	200 mg/m^3 (*)
Monóxido de Nitrogênio (NO) e Dióxido de Nitrogênio (NO_2) expressos como dióxido de nitrogênio, para instalações existentes de capacidade nominal igual ou inferior a 6 ton/hora	400 mg/m^3 (*)

Fonte: Diretiva 2000/76/CE.

Os valores-limite das emissões para a atmosfera aplicáveis às instalações de co-incineração estão indicados no Anexo II. No anexo II são indicadas as disposições especiais para os fornos de cimento, para outros setores industriais e para as instalações de combustão onde se realiza a co-incineração de resíduos.

As águas residuais descarregadas da depuração dos gases de escape devem ser objeto de uma autorização. Esta autorização garante que os valores-limite de emissão indicados no anexo IV (limites de emissões para as águas residuais) da diretiva sejam respeitados. As águas pluviais ou resultantes de operações de combate a incêndio devem ser recolhidas e analisadas antes de serem eliminadas.

De acordo com a diretiva, os resíduos do processo de incineração devem ser reduzidos ao mínimo e, na medida do possível, reciclados. No momento do transporte dos resíduos secos, devem ser tomadas precauções para evitar a sua dispersão no ambiente. Devem ser realizados ensaios para conhecer as características físicas e químicas dos resíduos, bem como o seu potencial de poluição.

A diretiva prevê a instalação obrigatória dos sistemas de medição que permitem controlar os parâmetros e os limites de emissão pertinentes. As emissões para a atmosfera e para a água são medidas periodicamente em conformidade com o Anexo III e o artigo 11º da diretiva.

Os pedidos de licenças para novas instalações são postos à disposição do público para que este possa emitir observações antes de a autoridade competente tomar uma decisão. As instalações com uma capacidade nominal igual ou superior a duas toneladas por hora devem pôr à disposição da autoridade competente e do público um relatório anual relativo ao seu funcionamento e ao seu controlo. A autoridade competente elaborará e tornará pública a lista das instalações que não atingem aquela capacidade.

Antes de 31 de Dezembro de 2008, a Comissão apresentou um relatório ao Parlamento Europeu e ao Conselho relativo à aplicação da diretiva, aos progressos realizados no controlo das emissões e à experiência na gestão dos resíduos. Foram também elaborados outros relatórios relativos à aplicação da diretiva.

De acordo com a diretiva 2000/76/CE, fica a cargo dos Estados-Membros determinar as sanções aplicáveis às violações das disposições estabelecidas na diretiva.

A diretiva 2000/76/CE é aplicável às instalações existentes a partir de 28 de Dezembro de 2005 e às novas instalações a partir de 28 de Dezembro de 2002 (EUROPASLE, 2010).

b) Estado da Arte (implantação)

Quando emitida em 1999, a Diretiva dos Aterros (1999/31/CE) foi um marco importantíssimo na política de resíduos da União Européia. Ela marcou uma mudança decisiva na utilização de aterros dentro da UE para a nova hierarquia de tratamento de resíduos, passando a priorizar a redução e a prevenção da produção dos resíduos, seguida pela reutilização dos resíduos, da reciclagem, e da recuperação energética. A utilização dos aterros ficou restrita à última alternativa (EEA, 2009).

A diretiva dos aterros determinou metas para se reduzir progressivamente, até o ano de 2016, a quantidade total de resíduos urbanos biodegradáveis que são enviados para serem dispostos em aterros. Neste cenário, criaram se ferramentas que diversificaram e intensificaram outras formas de disposição, com grande destaque para a incineração, passando então a ter extensa utilização na UE, mais intensamente em alguns países.

Além desta diretiva, o surgimento do conceito e utilização da “melhor tecnologia disponível” (Best Available Technology – BAT) para o controle das emissões das plantas de incineração de resíduos permitiu uma melhora no controle da poluição dos principais poluentes gerados no processo de incineração, principalmente as dioxinas e os furanos. Essa melhora na tecnologia de controle da poluição foi muito importante na difusão da incineração dos resíduos, pois as emissões de dioxinas e furanos sempre foram as maiores preocupações no uso de tratamentos térmicos para destinação dos resíduos.

A diretiva das energias renováveis (*Renewable Energy Directive* - 2001/77/CE) da UE também teve um papel importante no processo de diversificação da utilização de aterros para resíduos biodegradáveis na Europa. Esta diretiva obriga os países membros da UE a determinarem metas nacionais para o percentual de energia renovável consumida pelo país em relação ao total de energia consumida pelo país em 2010. Os resíduos biodegradáveis, uma vez classificados como uma fonte de energia renovável, puderam a partir de então compor parte da meta de consumo da diretiva das em energias renováveis, estimulando a utilização de plantas de tratamento

de resíduos que recuperem a energia presente nos resíduos, como o caso das plantas de incineração (EEA, 2009).

De acordo com a Agência Ambiental Européia, no seu relatório de 2009 (EEA, 2009), a capacidade de incineração na Europa cresceu significativamente, juntamente com o crescimento das restrições impostas aos limites de emissão desta tecnologia, porém pode se observar que esta taxa de crescimento foi irregular dentre as diferentes regiões da Europa. Na Alemanha e na região “Flemish” da Bélgica, a capacidade instalada de incineração processa atualmente cerca de 35% do total dos resíduos produzidos pela população local. Em outras regiões porém diversos fatores atrasaram a mudança para o uso dos incineradores no gerenciamento dos RSU. Alguns destes fatores são: a oposição da população, amplamente baseada nas preocupações em relação aos impactos sobre o meio ambiente e à saúde humana das emissões, e – no caso da Finlândia – dificuldades na integração do já existente sistema de energia elétrica e o sistema de aquecimento com as plantas de incineração de resíduos. Por razões como estas, a capacidade de incineração de alguns países, como a Itália, está próximo aos 15% dos resíduos urbanos gerados, chegando a ser inferior aos 10% em alguns outros países, como é o caso da Hungria.

Na outra extremidade em relação à incineração, a aterragem dos resíduos sólidos urbanos continua sendo a opção predominante dos países membros da UE-27, porém este cenário vem mudando rapidamente. De acordo com EEA (2009), em 1995 cerca de 62% dos RSU gerados na Europa foram aterrados. Já em 2007, esta média caiu para 42%, mostrando uma forte queda da utilização desta que ainda é a principal forma de disposição na Europa e no mundo. Na contramão da tendência dos aterros, a figura 3.2.2.1. apresenta dados sobre a utilização de incineração no tratamento dos RSU da mesma época, entre o ano de 1995 e de 2007, mostram uma tendência clara de crescimento da utilização desta forma de destinação, saindo de pouco mais de 10%, para aproximadamente 20% em 2007. A média global de RSU incinerados pelos países membros da UE-27(EU-27) no ano de 2007 ainda se mostra baixo principalmente pelo fato de treze países, de um total de vinte e sete, possuírem uma taxa de incineração entre 0 e 10%.

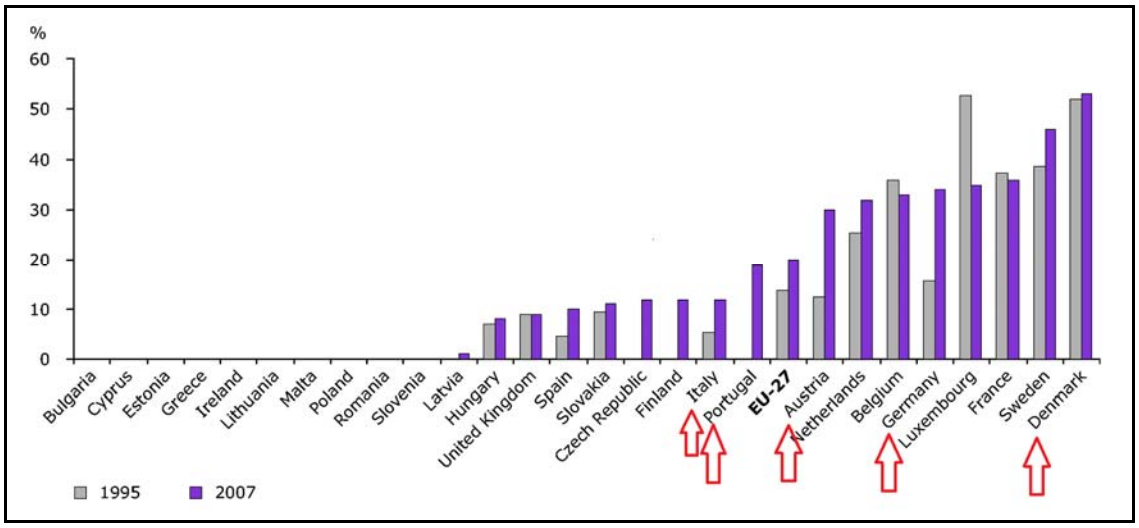

Figura 3.2.2.1. - Percentual de Resíduos Sólidos Urbanos incinerados nos países da UE-27, no ano de 1995 e de 2007, com o destaque para alguns países. **Fonte:** EEA, 2009.

Ainda na figura 3.2.2.1., estão destacados alguns países que apresentaram um aumento significativo na quantidade de resíduos incinerados de um ano para o outro, além dos países que já possuíam uma alta taxa de incineração dos RSU, como é o caso da Dinamarca, que incinerava e incinera mais de 50% dos RSU gerados no país. A Alemanha, que será analisada com mais detalhe na próxima seção, destacou-se por ter obtido uma das maiores variações no percentual total de resíduos incinerados, saindo de aproximadamente 15% no ano de 1995, para 35% em 2007. Este resultado, obtido pela Alemanha, é fruto de uma política interna rígida e comprometida com metas mais restritivas do que as estabelecidas pelas diretivas da União Européia, além de investimentos reais e significantes no desenvolvimento de projetos que viabilizem a diversificação da utilização de aterros. Estes projetos incluem: a coleta seletiva e reciclagem de matérias prima secundárias como papéis/papelões e resíduos biodegradáveis, o tratamento mecânico-biológico, a incineração dedicada dos resíduos mistos das residências com recuperação energética, e também a compostagem. No item 3.2.3. a Alemanha será discutida isoladamente com mais detalhes.

É importante analisar a figura 3.2.2.1. considerando que a incineração não é a única opção na diversificação dos aterros, não sendo necessariamente complementares essas 2 formas de disposição de resíduos, podendo os resíduos ser enviados para a reciclagem, o tratamento mecânico biológico, entre outros. Exemplo disto é a Alemanha, que incinera aproximadamente 35% dos seus RSU e envia para aterros atualmente menos de 1% deste montante. Isso ocorre devido às altas taxas de reciclagem e recuperação de materiais que são praticadas no país.

Esta grande variação na forma de tratamento/disposição dos RSU presente entre os diferentes países membros da União Européia nos possibilita agrupá-los, de forma geral, em 3 diferentes grupos de acordo com a sua estratégia na diversificação da opção dos aterros (EEA, 2009). A seguir, a figura 3.2.2.2. destaca no mapa estes 3 diferentes grupos, classificados de acordo o perfil no gerenciamento dos RSUs. O Grupo 1 compreende os países que possuem altos níveis tanto de recuperação de materiais, como de incineração, e por conseqüência possuem baixos níveis de aterragem de resíduos. Os países que compõem este grupo, de forma geral, instituíram diversos instrumentos políticos/legais anteriormente às diretivas da UE, mostrando que a pro-atividade se mostrou determinante para o sucesso da gestão dos RSUs nestes países. Neste grupo estão incluídos países como a Alemanha, Dinamarca, Áustria, França, Bélgica e Holanda.

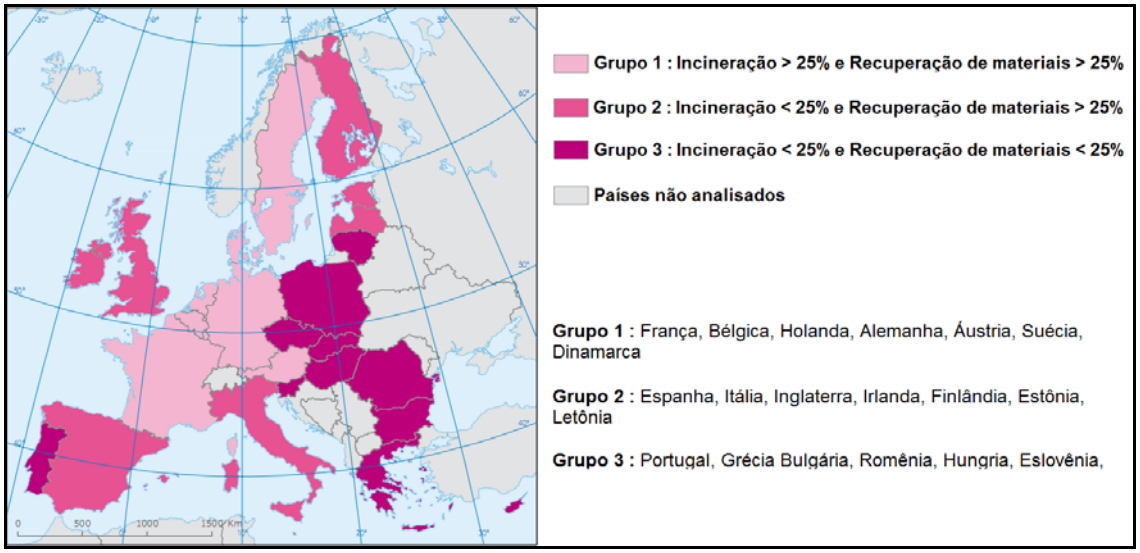

Figura 3.2.2.2. – Três agrupamentos de países definido pela estratégia de diversificação à aterragem. **Fonte:** EEA, 2009.

O Grupo 2 compreende os países com altas taxas de recuperação de materiais e níveis medianos de incineração de RSU, com uma dependência mediana em relação aos aterros. De forma geral podemos dizer que nestes países a incorporação de políticas relacionadas aos resíduos apenas foram incorporadas após a criação das diretivas da UE, porém são países que fizeram esta incorporação de forma rápida e eficiente. Neste grupo estão incluídos países como Itália, Espanha, os países do Reino Unido, Finlândia

O terceiro grupo, ou grupo 3, engloba os países no qual os níveis da recuperação de materiais e de incineração ainda são muito baixos, criando uma dependência muito forte pela disposição nos aterros. Neste grupo está a maior parte dos países que ainda

estão no processo de incorporação das políticas e regulamentações das diretivas da União Européia. Neste grupo estão incluídos países como Portugal, Grécia e diversos países do leste Europeu como a Bulgária, a República Tcheca, a Eslováquia, a Polônia e Lituânia.

Pela figura 3.2.2.2. é possível visualizar quais países se encaixam em cada grupo e também a sua distribuição geográfica. Pela figura também é possível perceber que quase a totalidade dos países do Grupo 3 são países do leste europeu, ou seja, países que tiveram a sua entrada no bloco mais tardiamente e como conseqüência a incorporação tardia das leis e das regulamentações da UE (EEA, 2009).

De acordo com CEWEP, 2008, no ano de 2007 na Europa cerca de 450 plantas de incineração WTE trataram termicamente aproximadamente 65 milhões de toneladas resíduos. A tabela 3.2.2.2. resume melhor a distribuição destas plantas *Waste-to-Energy* e o potencial de tratamento de resíduos dentre os principais países europeus.

Tabela 3.2.2.2. – Plantas *Waste-to-energy* na Europa no ano de 2008 e suas respectivas capacidades de tratamento dos resíduos.

Países	Número de plantas WTE (A)	Resíduos tratados (milhões tons./ano) (B)	Capacidade média anual por planta (B/A)
França	129	13,5	105 mil ton/ano
Espanha	10	2,2	220 mil ton/ano
Portugal	3	1,0	333 mil ton/ano
Reino Unido	20	4,4	220 mil ton/ano
Bélgica	16	2,7	169 mil ton/ano
Holanda	11	6	545 mil ton/ano
Luxemburgo	1	0,1	100 mil ton/ano
Suiça	28	3,6	129 mil ton/ano
Itália	49	4,5	92 mil ton/ano
Áustria	9	1,6	178 mil ton/ano
Alemanha	67	18,8	281 mil ton/ano
República Tcheca	3	0,4	133 mil ton/ano
Polônia	1	0,04	40 mil ton/ano
Hungria	1	0,4	400 mil ton/ano
Dinamarca	29	3,6	124 mil ton/ano
Noruega	20	1	50 mil ton/ano
Suécia	30	4,6	153 mil ton/ano
Finlândia	2	0,2	100 mil ton/ano
Eslováquia	2	0,2	100 mil ton/ano
TOTAL	**431**	**68,8**	**160 mil ton/ano**

Fonte: Elaboração própria, baseada em dados de CEWEP, 2008.

Pela tabela 3.2.2.2., a França e a Alemanha se destacam pelo grande número de plantas instaladas (129 e 67, respectivamente) em operação, além da alta capacidade de tratamento de resíduos (13,5 e 18,8 milhões tons./ano respectivamente). O Reino Unido e alguns outros países, como a Itália e a Suécia, também possuem um grande potencial instalado para processamento dos RSUs, processam mais de 4 milhões de toneladas por ano de RSUs.

Ainda na tabela 3.2.2.2., é revelada que a capacidade média de processamento das plantas de incineração na Europa ainda é muito reduzida, apenas 160 mil toneladas de resíduos por ano, porém alguns países possuem uma capacidade média de processamento de resíduos anual bem acima desta média. Os países as maiores capacidade instalada por planta são: Holanda, Hungria, Portugal e Alemanha.

Pela tabela 3.2.2.2. é possível confirmar que os países que constituem o grupo 3 (figura 3.2.2.2.) possuem uma reduzida capacidade de incineração (WTE) instalada, como é o caso da Eslováquia, da Hungria, da Polônia e da República Tcheca.

A figura 3.2.2.3. apresenta o perfil do gerenciamento de resíduos em alguns países da União Européia. A figura ordena de forma decrescente os países com os melhores índices de reciclagem e incineração, indo do país com o menor índice de utilização dos aterros, para o país com o maior índice de utilização. A Polônia se encontra na última posição, apresentando um índice de aterragem de 91%. No outro extremo está a Alemanha, aterrando apenas 0,7% de seus resíduos.

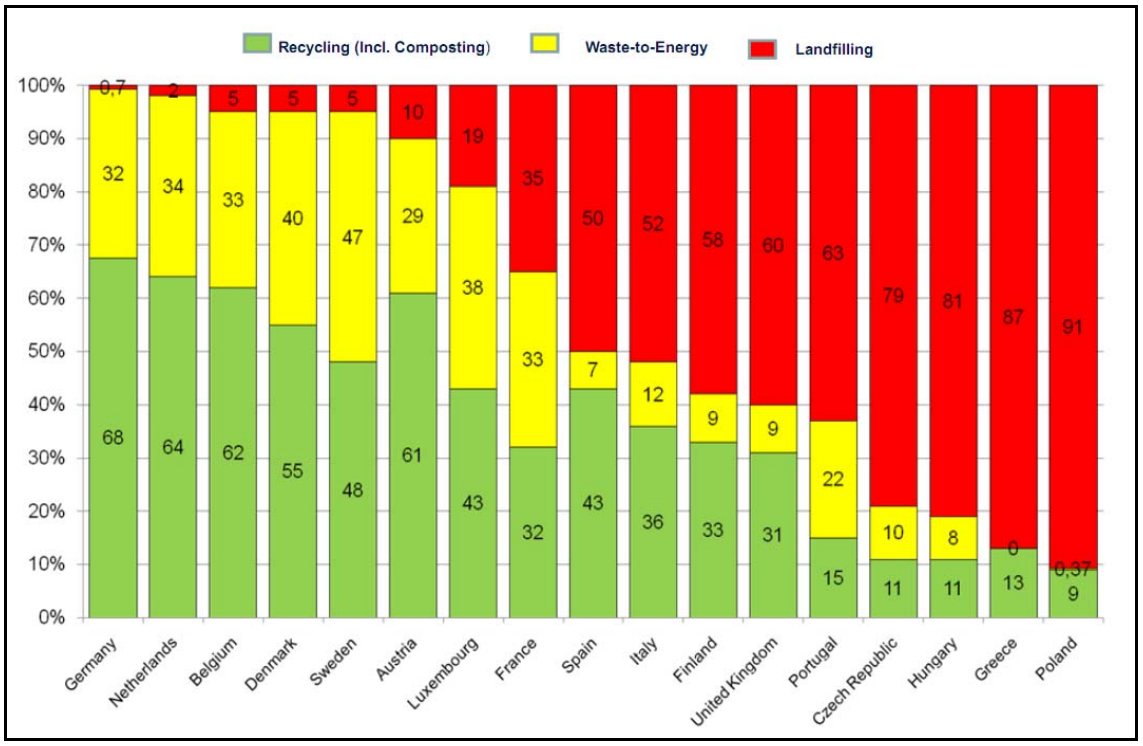

Figura 3.2.2.3. - Perfil do tratamento dos resíduos sólidos urbanos na União Européia no ano de 2006**.**
Fonte: EUROSTAT.

c) Principais Plantas

Tabela 3.2.2.3. - Algumas das principais plantas de incineração de resíduos (WTE) da Europa em operação.

Nº	Planta/Localização	Operador	Tons/ano Tons/dia	Observações
1	**AEB's Waste Fired Power Plant (WFPP)** Amsterdan - Holanda	-	1.606.000 4.400	Iniciou as operações em 2006. Gera cerca de 1.000.000 de MWh por ano de energia elétrica (AEB, 2010).
2	**Isséane Incineration Plant** Paris - França	SYCTOM	460.000 1.260	Iniciou as operações em 2007. Gera cerca de 50MW de potência elétrica (PPAW, 2010).
3	**Brescia Waste Incinerator Plant** Bréscia - Itália	A2A SpA	700.000 1.920	Iniciou as operações em 1998. Produz cerca de 400.000 MWh de energia elétrica e 300.000 MWh de energia térmica por ano (CENTROVOLTA, 2010).
4	**Valorsul** Portugal	Valorsul SA	730.000 2.000	Iniciou as operações em 1999. Gera cerca de 50MW de potência elétrica (PPAW, 2010).

Fonte: Elaboração própria.

3.2.3. ALEMANHA

a) Legislação

A Alemanha também estabeleceu medidas destinadas a prevenir ou reduzir, a poluição do ar, da água e do solo causada pela incineração e a co-incineração de resíduos, assim como os riscos para a saúde humana daí resultantes. As medidas incluem uma obrigação de autorização prévia para as instalações de incineração ou de co-incineração, incluindo desde parâmetros para a construção e configuração de plantas de incineração, requisitos para a operação da planta, limites para a emissão para a atmosfera de certas substâncias poluentes, e requisitos para plantas de incineração pré-existentes.

A 17ª portaria da Implementação do Ato Federal de Controle de Emissões (*Implementation of the Federal Immission Control Act - 17th BImSchV*), de 23 de novembro de 1990, sobre a incineração de resíduos. Esta portaria passou a valer a partir de 1 de Dezembro de 1990 e estabeleceu limites de emissões para as plantas de incineração de resíduos na Alemanha, sendo estes os mais restringentes do mundo (FME, 2005). Esta portaria foi promulgada mais de 10 anos antes do lançamento da diretiva da comunidade européia que trata do mesmo tema, a incineração de resíduos (2000/76/CE), demonstrando mais uma vez a posição de vanguarda que a Alemanha sempre teve no âmbito ambiental, principalmente quanto ao gerenciamento de resíduos. Em 2003, a fim de realizar algumas adequações à nova diretiva 2000/76/CE,

a portaria foi revisada para serem incluídos pontos relevantes da diretiva que ainda não estavam presentes na portaria. Os limites de emissões determinados pela diretiva 2000/76/CE tiveram grande influência da *17th BImSchV*.

A portaria *17th BImSchV* aplica-se à construção, ao layout e à operação de plantas de incineração e co-incineração que tratem resíduos sólidos, líquidos ou gasosos. Algumas exceções não estão submetidas a essa portaria, estando elas especificadas na própria portaria.

Esta portaria contém exigências a serem cumpridas nos termos do artigo 5, parágrafo (1) do nº. 1 ao 4, da Lei Federal de Controle de emissões para a construção e operação de instalações, no que diz respeito a:

- medidas cautelares contra efeitos nocivos ao meio ambiente de poluentes do ar,
- o controle de incêndios,
- o tratamento de resíduos,
- e o aproveitamento da energia gerada nesse tipo de instalação.

As plantas de incineração para resíduos sólidos, ou outras substancias sólidas, de acordo com o Artigo 1º parágrafo 1, devem ser equipados com uma caixa de recepção fornecida com um sistema de extração de ar de exaustão, exaurindo o ar proveniente do sistema de queima. Plantas de co-incineração de resíduos, ou outras substâncias sólidas, de acordo com o Artigo 1º parágrafo 1, devem ser equipadas com sistemas de armazenamento fechado para tais substâncias, bem como o ar gerado nesses compartimentos deve ser capturado.

As unidades de incineração ou co-incineração devem ter medidas e equipamentos existentes para detecção de incêndio e de combate a incêndio. As medidas de proteção contra incêndios e os equipamentos devem ser concebidos de forma a garantir que o desenvolvimento de incêndios ou propagação para o compartimento dos resíduos possam ser detectados e extintos.

As unidades de incineração ou co-incineração devem ser concebidas, construídas e exploradas de forma a excluir lançamentos de substâncias poluentes não autorizadas e acidentais para o solo, para águas superficiais e/ou subterrâneas. Além disso, uma capacidade suficiente de armazenamento deverá estar disponível para a coleta da

água contaminada proveniente do local de incineração ou co-incineração durante operações de risco e de combate a incêndios. A capacidade de armazenamento deve ser considerada suficiente se esse fluxo de água puder ser analisado e, se necessário, tratado antes de ser descartado.

A fim de garantir a combustão total dos resíduos, a portaria prevê a obrigação de todas as instalações manterem os gases resultantes da incineração e da co-incineração a uma temperatura mínima de 850 ºC durante pelo menos 2 segundos. Caso se trate de resíduos perigosos com um teor de substâncias orgânicas halogenadas, expresso em cloro, superior a 1%, a temperatura deve atingir 1100 ºC durante pelo menos 2 segundos.

As unidades de incineração ou co-incineração devem ser equipadas com um sistema interrupção da alimentação automática para,

- prevenir que resíduos, ou outras substâncias, sejam alimentados na planta antes da temperatura mínima seja atingida no início do processo,
- garantir que a alimentação de resíduos, ou outras substâncias, seja feita para a unidade de queima apenas se a temperatura mínima de queima for mantida,
- garantir que a alimentação de resíduos, ou outras substâncias, seja interrompida se houver algum risco de se exceder um dos valores de limite de emissão que são monitorados continuamente devido a uma falha ou stress de operação do sistema de limpeza do gás da queima.

Os valores-limite das emissões para a atmosfera das instalações de incineração estão indicados no Artigo 5 da portaria. Eles estão em sua maioria sendo apresentados na tabela 3.2.3.1., e se referem aos metais pesados, dioxinas e furanos, monóxido de carbono (CO), poeiras, carbono orgânico total (COT), cloreto de hidrogênio (HCl), fluoreto de hidrogênio (HF), dióxido de enxofre (SO_2), monóxido de azoto (NO) e dióxido de azoto (NO_2).

Tabela 3.2.3.1. - Limites de emissões diárias e em ½ hora para os incineradores de acordo com a 17ª portaria da Implementação do Ato Federal de Controle de Emissões.

Poluentes	Média Máxima de Emissões/Dia	Média Máxima Emissões em ½ hora
Material Particulado	10 mg/m^3	30 mg/m^3
Composto Orgânicos expresso em carbono orgânico total	10 mg/m^3	20 mg/m^3
Compostos inorgânicos gasosos clorados	10 mg/m^3	60 mg/m^3
Compostos inorgânicos gasosos fluorados	1 mg/m^3	4 mg/m^3
Dióxido de Enxofre e Trióxido de Enxofre, expressos em dióxido de enxofre	50 mg/m^3	200 mg/m^3
Monóxido de Nitrogênio e Dióxido de Nitrogênio, expressos em dióxido de nitrogênio	200 mg/m^3	400 mg/m^3
Mercúrio e seus compostos, expressos em mercúrio	0,03 mg/m^3	0,05 mg/m^3
Monóxido de Carbono	50 mg/m^3	100 mg/m^3
Dioxinas e Furanos	0,1 ng/m^3	0,1 ng/m^3

Fonte: Ordinance on Waste Incineration and Co-Incineration - 17. BImSchV.

De acordo com o Artigo 6, as quantidades de descarga de gases da queima devem ser determinadas de acordo com os requisitos da TA Luft (*Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft - Technical Instructions on Air Quality Control*), atualizado periodicamente. Os requisitos são mais detalhados e definidos nas licenças de construção e de operação da planta de incineração.

O calor gerado pelo processo de incineração ou co-incineração, quando não é utilizado em outros processos, deve ser utilizado nas instalações da planta operadora. Se este calor gerado não for transferido a terceiros, ou utilizado nas instalações da planta operadora, e for suficiente para gerar mais de 0,6 megawatts de potência elétrica, esse calor deverá ser utilizado para a produção de eletricidade.

As medições para determinar as concentrações das emissões ou as condições de combustão, bem como para determinar as variáveis de referência ou parâmetros de processo operacionais serão realizadas utilizando/aplicando os métodos de medição do estado-da-arte, e equipamentos de medição, em conformidade com o Anexo III nº. 1 e 2, conforme especificado em detalhes pela autoridade competente.

Após a primeira calibração dos equipamentos de medição para monitoramento contínuo das emissões de acordo com o Artigo 10, e após as primeiras medições

individuais, os operadores de instalações de incineração ou co-incineração devem informar ao público das avaliação das emissões medidas e as condições de combustão uma vez por ano da maneira e forma a ser determinada pela autoridade competente.

b) Estado da Arte (Implantação)

Conforme analisado no item 3.1.3., que trata sobre o estado atual dos aterros sanitário na Alemanha, no meio dos anos 60 os resíduos do país eram basicamente dispostos em 50.000 pequenos locais de despejo. A partir desse grande número de vazadouros em funcionamento na década de 60, começava a iniciar o interesse e a necessidade de construção de uma infra-estrutura que pudesse gerenciar corretamente estes resíduos (EEA, 2009).

Como dito no item 3.1.3., já na década de 90 a Alemanha estava entre os primeiros países da Europa a introduzir políticas de redução da utilização de aterros. Entre essas medidas estavam incluídos programas de coleta de resíduos de embalagens, biodegradáveis e de resíduos de papéis separadamente. Como resultado, em 1995 a Alemanha já reciclava uma grande parte de seus RSU e enviava para aterro apenas 40% destes resíduos. Ou seja, a aproximadamente de 25 anos atrás a quantidade de resíduos que a Alemanha enviava aos seus aterros corresponde à quantidade média atual praticado pelos países que compõem a UE, aproximadamente 40%.

Assim como a hierarquia proposta pela União Européia, a política nacional de resíduos da Alemanha seguiu uma hierarquia priorizando inicialmente a prevenção/redução da produção de resíduos, seguido pela recuperação de materiais, e por último a recuperação da energia, dependendo do que for mais benéfico para o meio ambiente. Para obedecer a esta estratégia, a Alemanha focou-se na coleta seletiva e na reciclagem de matérias primas secundárias (papéis e biodegradáveis), no pré-tratamento da mistura dos resíduos domiciliares em plantas de tratamento mecânico-biológico e na incineração dedicada com recuperação da energia presente nos resíduos.

Nos anos 80, as plantas de incineração de resíduos tornaram-se um forte símbolo de contaminação/poluição ambiental. Os cidadãos iniciaram uma luta contra a sociedade do descarte, do desperdício e do “jorramento” de dioxinas nas periferias das cidades. Este protesto obteve sucesso na época. Hoje na Alemanha, mais da metade de todo os resíduos domésticos (55%) é reciclado, sendo reciclados as porções

biodegradáveis, os resíduos de papéis, os resíduos de vidro, e os resíduos de embalagens.

A incineração de resíduos ganhou realmente forçar a partir do dia 1º de Junho de 2005, o dia em que entrou em vigor a portaria sobre a Disposição de Resíduos (*Waste Disposal Ordinance*), que determinou que a partir daquela data os resíduos que não passassem por algum tipo de pré-tratamento, podendo ser um tratamento térmico de alta performance ou um tratamento mecânico-biológico, não poderiam mais ser enviados a um aterro em território alemão (FME, 2005).

Os rigorosos limites de emissões determinados pela portaria *17th BImSchV*, sobre emissões de plantas de incineração de resíduos, foi também um outro fator que ajudou para a ampliação da utilização das plantas de incineração. A partir dessa portaria, as plantas de incineração existentes não possuíam emissões significativas dos principais poluentes, como as dioxinas, o material particulado e também os metais pesados. As emissões das décadas passadas, quando comparadas com as emissões das plantas de incineração atuais, mostraram uma redução de mais de 99,9% na emissão de dioxinas/furanos (FME, 2005).

Os dados da tabela 3.2.3.2. mostram como esse crescimento aconteceu no decorrer dos anos, e na capacidade instalada de processamento. Pela tabela observa-se um crescimento de quase 100% na capacidade de processamento das plantas de incineração do período de 1990 até o ano de 2007 na Alemanha.

Tabela 3.2.3.2. – Número de plantas e a capacidade de incineração na Alemanha entre 1965 e 2007.

Ano	Nº de Plantas (A)	Capacidade Instalada (milhões ton/ano) - (B)	Capacidade média anual por planta - (B/A)
1965	7	0,72	102 mil ton/ano
1970	24	2,8	117 mil ton/ano
1975	33	4,6	140 mil ton/ano
1980	42	6,3	150 mil ton/ano
1985	46	7,9	172 mil ton/ano
1990	48	9,2	192 mil ton/ano
1995	52	10,9	210 mil ton/ano
2000	61	14,0	230 mil ton/ano
2005	66	16,9	256 mil ton/ano
2007	72	17,8	247 mil ton/ano

Fonte: Elaboração própria a partir de dados de FME, 2005.

Pela tabela 3.2.3.2. é possível observar durante os anos a evolução do número de plantas de incineração no território alemão, a capacidade instalada total de processamento, e a capacidade instalada de processamento médio por planta.

Do ano de 1965, para o de 2005, a média capacidade de processamento de resíduos por cada planta passou de 102 mil ton/ano, para 256 mil ton/ano, um crescimento de 150%. Esses dados mostram que a Alemanha além de investir no crescimento do número total de plantas para a incineração de resíduos, investiu também na capacidade instalada de processamento dessas novas plantas.

O crescimento expressivo da capacidade de processamento de resíduos através das plantas de incineração na Alemanha mudou de forma significativa o perfil do gerenciamento de resíduos praticado no país e alterou as proporções de utilização das outras principais formas de tratamento/disposição no gerenciamento dos RSU. A figura 3.2.3.1. ilustra bem esta evolução dos padrões praticados entre o ano de 1995 e o ano de 2006.

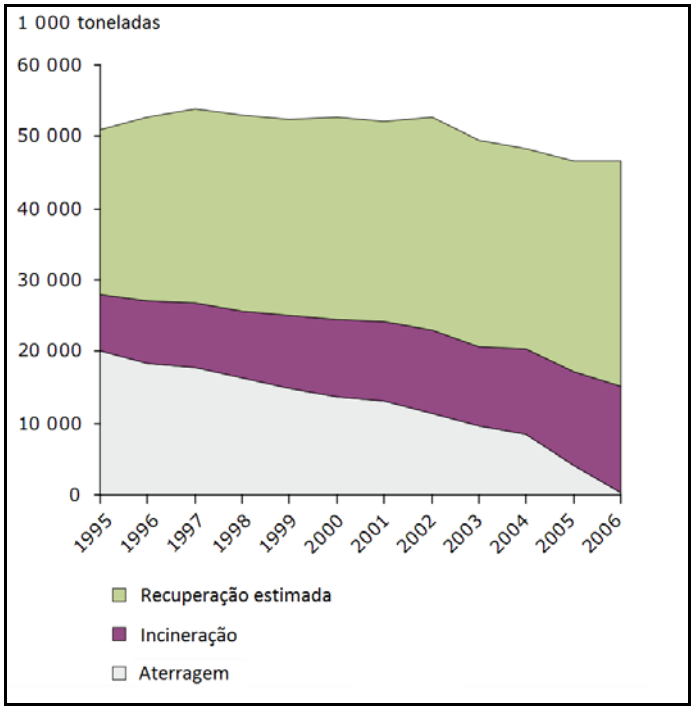

Figura 3.2.3.1. – Evolução do gerenciamento dos Resíduos Sólidos Urbanos na Alemanha. A recuperação é estimada como a geração de resíduos menos os resíduos que são aterrados e incinerados. **Fonte:** EEA, 2009

Fazendo a análise inicial da figura 3.2.3.1. é possível observar que a quantidade de resíduos gerados na Alemanha diminui do ano de 1995 para o ano 2006. Essa redução no total produzido foi apenas possível devido à redução da quantidade

produzida por habitante diariamente, uma vez que a população alemã teve uma breve expansão neste período.

Na figura 3.2.3.1., a porção do gráfico que mais atrai as atenções é a porção que representa a utilização dos aterros sanitários no país. Em 1995 a quantidade de resíduos que foi enviada para os aterros foi de 20 milhões de toneladas (aproximadamente 40% do total produzido). Já em 2006, um curto intervalo para tamanha mudança, a quantidade de resíduos enviada aos aterros foi inferior a 0,5 milhão de tonelada, menos de 1% do total de resíduos produzido no ano de 2006.

Quanto ao uso dos incineradores, a figura 3.2.3.1. mostra que os resíduos incinerados, juntamente aos resíduos que passaram por uma recuperação de material, isso inclui a reciclagem e o tratamento mecânico biológico, representavam cerca de 60% do total dos resíduos produzidos no ano de 1995 na Alemanha, e em 2006 esse número foi de praticamente 100%.

A evolução do gráfico da figura 3.2.3.1. pode ser explicada cronologicamente levando em consideração as regulamentações emitidas e os momentos político-sociais do país. Em 1995, antes da portaria que baniu de forma definitiva o envio de resíduos sem pré-tratamento para os aterros (*Waste Disposal Ordinance*), um período em que a desconfiança da população sobre a incineração ainda era uma realidade, a quantidade de resíduos levados aos aterros ainda era muito elevada, e a de incineração era bem baixa. Já em 2006, após a edição da portaria sobre a disposição de resíduos que trouxe o banimento definitivo dos aterros, e também após uma melhor aceitação das novas tecnologias de incineração por parte da população, os resíduos destinados aos aterros praticamente cessaram após um período, em paralelo o total dos resíduos incinerados mais do que dobrou, mostrando a eficiência das ferramentas legais e regulatórias utilizadas de forma pioneira por parte da Alemanha.

c) Principais Plantas

Tabela 3.2.3.3. - Algumas das principais plantas de incineração de resíduos (WTE) da Alemanha.

Nº	Planta/Localização	Operador	Tons/ano Tons/dia	Observações
1	**AVG Köln** Nordrhein-Westfalen	AVG Köln GmbH	420.000 1.150	Iniciou as operações em 1998. Tem potência instalada de 56 MW.
2	**Schwandorf** Bayern	Zweckverband Mullverwertung Schwandorf	-	Iniciou as operações em 1989. Tem potência instalada de 2x11MW + 32MW = 54MW
3	**Stavenhagen** Mecklenburg-Vorpommern	Nehlsen Heizkraftwerke GmbH & Co KG	95.000 -	Iniciou as operações em 2007. Tem potência instalada de 45MW.
4	**MHKW Karnap** Nordrhein-Westfalen	RWE Power	700.000 1.920	Iniciou as operações em 1987. Tem potência instalada de 43MW.

Fonte: Elaboração própria a partir de PPAW, 2010.

Capítulo 4

A EXPERIÊNCIA BRASILEIRA

4.1. LEGISLAÇÃO BÁSICA SOBRE OS RESÍDUOS SÓLIDOS

No Brasil, conforme previsto na resolução CONAMA nº 237 de 1997, que dispõe sobre o licenciamento ambiental,

> *"Art. 2º- A localização, construção, instalação, ampliação, modificação e operação de empreendimentos e atividades utilizadoras de recursos ambientais consideradas efetiva ou potencialmente poluidoras, bem como os empreendimentos capazes, sob qualquer forma, de causar degradação ambiental, dependerão de prévio licenciamento do órgão ambiental competente, sem prejuízo de outras licenças legalmente exigíveis.*
>
> *§ 1º- Estão sujeitos ao licenciamento ambiental os empreendimentos e as atividades relacionadas no Anexo 1, parte integrante desta Resolução."*

portanto, qualquer atividade que utilize algum recurso natural, como é o caso dos aterros, que utiliza amplamente o solo, fica determinado que seja feito o seu licenciamento ambiental para que ocorra a atividade. Ou seja, qualquer aterro, para qualquer classificação de resíduo, deverá passar pelo processo de licenciamento, previsto na resolução CONAMA nº 237 de 1997.

Para o caso particular dos aterros de pequeno porte, foi editada uma resolução CONAMA para simplificar o processo de licenciamento destes aterros, já que trata-se de um empreendimento com impactos reduzidos devido às suas proporções. Esta resolução CONAMA, nº 404/2008, dispõe e estabelece critérios e diretrizes para o licenciamento ambiental de aterros sanitários de pequeno porte de resíduos sólidos urbanos.

Nesta resolução, o artigo 1º determina e estabelece que os procedimentos de licenciamento ambiental de aterros sanitários de pequeno porte sejam realizados de forma simplificada de acordo com os critérios e diretrizes definidos na resolução. O capítulo 1 define o que seria um aterro de pequeno porte, ou seja, aterros que dispõe

até 20 toneladas diárias, estando limitado o licenciamento simplificado a apenas uma única unidade por sede municipal ou distrital.

Fica determinado pelo segundo artigo 2º a não obrigatoriedade do estudo de impacto ambiental (EIA) e do relatório de impacto ambiental (RIMA) no processo de licenciamento destes aterros, a não ser que o órgão ambiental competente determine o contrário.

De acordo com o artigo terceiro, nestes aterros sanitários de pequeno porte poderão ser dispostos os seguintes tipos de resíduos: resíduos sólidos domiciliares, resíduos de serviço de limpeza urbana, resíduos de serviços de saúde, bem como resíduos provenientes de pequenos estabelecimentos comerciais, industriais e de prestação de serviços. Porém, estes resíduos citados acima somente poderão ser dispostos nos pequenos aterros se não forem classificados como resíduos perigosos e se possuírem características similares aos resíduos domiciliares. Também ficam vetados os resíduos de serviços de saúde que precise de algum pré-tratamento para a sua disposição, ou qualquer outro tipo de resíduo que sua classificação requeira um pré-tratamento antes da disposição final.

No artigo 4 fica determinado que no licenciamento ambiental destes aterros sanitários de pequeno porte deverão ser exigidas, no mínimo, as seguintes condições, critérios e diretrizes:

I - vias de acesso ao local com boas condições de tráfego ao longo de todo o ano, mesmo no período de chuvas intensas;

II - respeito às distâncias mínimas estabelecidas na legislação ambiental e normas técnicas;

III - respeito às distâncias mínimas estabelecidas na legislação ambiental relativas a áreas de preservação permanente, unidades de conservação, ecossistemas frágeis e recursos hídricos subterrâneos e superficiais;

IV - uso de áreas com características hidrogeológicas, geográficas e geotécnicas adequadas ao uso pretendido, comprovadas por meio de estudos específicos;

V - uso de áreas que atendam a legislação municipal de uso e ocupação do solo, desde que atendido o disposto no art. 5º e 10º da resolução CONAMA nº 237, de 19 de dezembro de 1997, com preferência daquelas antropizadas e com potencial mínimo

de incorporação à zona urbana da sede, distritos ou povoados e de baixa valorização imobiliária;

VI - uso de áreas que garantam a implantação de empreendimentos com vida útil superior a 15 anos;

VII - impossibilidade de utilização de áreas consideradas de risco, como as suscetíveis a erosões, salvo após a realização de intervenções técnicas capazes de garantir a estabilidade do terreno;

VIII - impossibilidade de uso de áreas ambientalmente sensíveis e de vulnerabilidade ambiental, como as sujeitas a inundações;

IX - descrição da população beneficiada e caracterização qualitativa e quantitativa dos resíduos a serem dispostos no aterro;

X - capacidade operacional proposta para o empreendimento;

XI - caracterização do local;

XII - métodos para a prevenção e minimização dos impactos ambientais;

XIII - plano de operação, acompanhamento e controle;

XIV - apresentação dos estudos ambientais, incluindo projeto do aterro proposto, acompanhados de anotação de responsabilidade técnica;

XV - apresentação de programa de educação ambiental participativo, que priorize a não geração de resíduos e estimule a coleta seletiva, baseado nos princípios da redução, reutilização e reciclagem de resíduos sólidos urbanos, a ser executado concomitantemente à implantação do aterro;

XVI - apresentação de projeto de encerramento, recuperação e monitoramento da área degradada pelo(s) antigo(s) lixão(ões) e proposição de uso futuro da área, com seu respectivo cronograma de execução;

XVII - plano de encerramento, recuperação, monitoramento e uso futuro previsto para a área do aterro sanitário a ser licenciado;

XVIII - Apresentação de plano de gestão integrada municipal ou regional de resíduos sólidos urbanos ou de saneamento básico, quando existente, ou compromisso de elaboração nos termos da Lei Federal nº 11.445, de 2007.

No seu último artigo, artigo 7, esta resolução revoga a a Resolução nº 308, de 21 de março de 2002.

Lei Federal nº 12.305 (institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos)

Ainda na esfera federal, após cerca de 20 anos tramitando entre o senado e a câmara federal, o projeto de lei PL-1991/2007, no dia 02 de agosto de 2010, foi sancionado pelo presidente Lula e deu origem a lei federal nº 12.305 que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS).

A seguir será citada e descrita parte dos principais aspectos abordados na PNRS. A PNRS é composta por 57 artigos, distribuídos em 11 capítulos e 4 títulos.

O capítulo I do título I compreende os artigos 1 e 2 da lei, que determinam o objeto e campo de aplicação desta lei. O artigo 1º, no seu primeiro parágrafo, determina que estão sujeitas à observância desta lei tanto pessoas físicas, como pessoas jurídicas que forem responsáveis direta ou indiretamente pela geração dos resíduos sólidos, ou que desenvolvam atividades referentes à gestão integrada ou ao gerenciamento de resíduos sólidos.

O capítulo II do título I é composto unicamente do artigo 3, que por sua vez determina as definições dos termos utilizados nesta lei. Nele estão definidos termos para a gestão de resíduos no Brasil, como o conceito de *Logística Reversa*[11] e a *Responsabilidade Compartilhada*[12] pelo ciclo de vida dos produtos.

O capítulo II do título II determina os princípios e objetivos da PNRS. Compõem este capítulo os artigos 6 e 7. No capítulo III são descritos os instrumentos da PNRS, estando neste incluídos instrumentos como, os inventários dos resíduos sólidos, a coleta seletiva, a logística reversa, entre outros.

No artigo 8, que compõe o capítulo III, são citados os instrumentos que compõem a Política Nacional de Resíduos Sólidos.

[11] ***Logística reversa***: instrumento de desenvolvimento econômico e social caracterizado por um conjunto de ações, procedimentos e meios destinados a viabilizar a coleta e a restituição dos resíduos sólidos ao setor empresarial, para reaproveitamento, em seu ciclo ou em outros ciclos produtivos, ou outra destinação final ambientalmente adequada;

[12] ***Responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos***: conjunto de atribuições individualizadas e encadeadas dos fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes, dos consumidores e dos titulares dos serviços públicos de limpeza urbana e de manejo dos resíduos sólidos, para minimizar o volume de resíduos sólidos e rejeitos gerados, bem como para reduzir os impactos causados à saúde humana e à qualidade ambiental decorrentes do ciclo de vida dos produtos.

Através do artigo 9, a Política Nacional dos Resíduos Sólidos (PNRS) determina a ordem de prioridade dentro do gerenciamento de resíduos, começando pela não geração, depois a redução, a reutilização, a reciclagem, o tratamento dos resíduos sólidos e a disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos.

No artigo 13 os resíduos sólidos são classificados quanto à origem e também quanto a sua periculosidade. Os resíduos sólidos são classificados quanto à sua origem em:

a) resíduos domiciliares;

b) resíduos de limpeza urbana;

c) resíduos sólidos urbanos:;

d) resíduos de estabelecimentos comerciais e prestadores de serviços;

e) resíduos dos serviços públicos de saneamento básico;

f) resíduos industriais;

g) resíduos de serviços de saúde;

h) resíduos da construção civil;

i) resíduos agrossilvopastoris;

j) resíduos de serviços de transportes;

k) resíduos de mineração;

Além de classificados pela sua origem, os resíduos são classificados também quanto a sua periculosidade em:

a) resíduos perigosos: aqueles que, em razão de suas características de inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade, patogenicidade, carcinogenicidade, teratogenicidade e mutagenicidade, apresentam significativo risco à saúde pública ou à qualidade ambiental, de acordo com lei, regulamento ou norma técnica;

b) resíduos não perigosos: aqueles não enquadrados na alínea "a".

No artigo 15 são definidos os aspectos a serem considerados no plano nacional de resíduos sólidos. No artigo 16 são definidos os aspectos dos planos estaduais de

resíduos sólidos, e por último, no artigo 17, são definidos os aspectos dos planos municipais de gestão integrada de resíduos sólidos.

O capítulo III trata das responsabilidades. O artigo 27, parágrafo 1º, reporta que:

§ 1º A contratação de serviços de coleta, armazenamento, transporte, transbordo, tratamento ou destinação final de resíduos sólidos, ou de disposição final de rejeitos, não isenta as pessoas físicas ou jurídicas referidas no art. 20 da responsabilidade por danos que vierem a ser provocados pelo gerenciamento inadequado dos respectivos resíduos ou rejeitos.

Com isso, este parágrafo introduz um novo conceito de responsabilidade sobre os resíduos. De acordo com este parágrafo, ninguém se isenta da responsabilidade sobre o resíduo que gerou quando contrata uma empresa para destinar ou tratar este resíduo, sendo todos os agentes envolvidos neste processo responsáveis por este resíduo, desde a sua geração até a sua destinação final adequada.

O artigo 28 aborda a responsabilidade sobre os resíduos domiciliares. De acordo com este artigo, depois que o resíduo for gerado no domicilio e colocado de forma adequada para ser coletado, a responsabilidade do gerador cessa, passando para as mãos do município a responsabilidade de destinação deste resíduo.

Do artigo 30 ao artigo 36, a lei aborda a *Responsabilidade Compartilhada*, que de acordo com texto estabelece:

Art. 30. É instituída a responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos, a ser implementada de forma individualizada e encadeada, abrangendo os fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes, os consumidores e os titulares dos serviços públicos de limpeza urbana e de manejo de resíduos sólidos, consoante as atribuições e procedimentos previstos nesta Seção.

Entre os artigos 31 e 36 são adicionados elementos que constituem esta responsabilidade compartilhada sobre o ciclo de vida do produto. Alguns desses elementos são a implementação da coleta seletiva; a responsabilidade dos produtores (fabricantes) de produzir embalagens que sejam reutilizáveis, ou que sejam ao menos recicláveis; o uso de materiais e processos que agridam o mínimo o meio ambiente; a obrigatoriedade em estruturação e implementação de sistemas de logística reversa, principalmente quanto ao uso de agrotóxicos e suas embalagens, pilhas, baterias,

pneus, óleos lubrificantes e suas embalagens, lâmpadas fluorescentes e por último os produtos eletrônicos.

Do artigo 37 ao artigo 41, são descritos os aspectos de gerenciamento dos resíduos perigosos. Nestes artigos estão descritas obrigações extras que as empresas/empreendimentos que geram e/ou manipulam resíduos perigosos devem cumprir. Devido à sua elevada periculosidade, os resíduos perigosos devem ser gerenciados de forma mais minuciosa e controlada, a fim de evitar acidentes.

No capítulo V, entre os artigos 42 e 46, são descritos os instrumentos econômicos que serão utilizados para que se alcancem as metas propostas na política nacional de resíduos sólidos.

A partir do artigo 47, início do capítulo VI sobre proibições, são citadas as formas pelas quais está proibida a destinação e disposição final de resíduos sólidos. Fica proibido a partir desta lei destinar ou fazer a disposição final de resíduos através de:

I - lançamento em praias, no mar ou em quaisquer corpos hídricos;

II - lançamento in natura a céu aberto, excetuados os resíduos de mineração;

III - queima a céu aberto ou em recipientes, instalações e equipamentos não licenciados para essa finalidade;

IV - outras formas vedadas pelo poder público.

O artigo 49 cita que fica vetada a importação de resíduos sólidos perigosos, ou de qualquer outro resíduo sólido cujas características causem dano ao meio ambiente, à saúde pública e animal e à sanidade vegetal.

Decreto nº 7.404/2010

Mais recentemente, no dia 23 de Dezembro de 2010, foi editada pelo então presidente da República o decreto nº 7.404/2010, que regulamenta a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), criada a partir da lei nº 12.305/2010.

O decreto estabelece uma série de diretrizes aplicáveis à gestão de resíduos e cria uma estrutura orgânica com competência para a produção de novos regulamentos sobre a matéria. Trata-se, portanto, de uma norma com grande influência nas atividades das empresas que atuam no Brasil.

O decreto nº 7.404/2010 criou dois órgãos públicos colegiados com competência para a elaboração e avaliação de normas relacionadas à política e dos resíduos sólidos no Brasil: o Comitê Interministerial da Política Nacional de Resíduos Sólidos e o Comitê Orientador para a Implementação de Sistemas de Logística Reversa. Coordenando esses órgãos e todo o processo de execução da PNRS, encontra-se o Ministério do Meio Ambiente (MMA).

O Comitê Interministerial da Política Nacional de Resíduos Sólidos foi criado com finalidade de apoiar a estruturação e implementação da PNRS, por meio da articulação dos órgãos e entidades governamentais.

Ao Comitê interministerial competem, dentre outras, as seguintes atribuições:

I. Instituir os procedimentos para a produção, elaboração e avaliação da implementação do Plano Nacional de Resíduos Sólidos;

II. Definir as informações adicionais ao Plano de Gereciamento de Resíduos Sólidos Perigosos;

III. Promover estudos e propor medidas visando à desoneração tributária de produtos recicláveis e reutilizáveis e a simplificação dos procedimentos para o cumprimento de obrigações acessórias relativas à movimentação de produtos e embalagens produzidos com estes materiais;

IV. Incentivar a pesquisa e o desenvolvimento nas atividades de reciclagem, reaproveitamento e tratamento dos resíduos sólidos;

V. Implantar ações destinadas a apoiar a elaboração, implementação, execução e revisão dos planos de resíduos sólidos;

VI. Contribuir, por meio de estudos específicos, com o estabelecimento de mecanismos para a cobrança dos serviços de limpeza urbana e de manejo de resíduos sólidos urbanos pelos seus respectivos titulares.

Como o MMA foi escolhido como o órgão responsável pelo elaboração dos documentos , o mesmo foi designado o coordenador do comitê interministerial.

Ao Comitê Orientador para a Implementação de Sistemas de Logística Reversa competem as seguintes atribuições, entre outras:

I. Estabelecer a orientação estratégica da implementação de sistemas de logística reversa;

II. Definir as prioridades e aprovar o cronograma para o lançamento de editais de chamamento de propostas de acordo setorial para a implementação de sistemas de logística reversa de iniciativa da União;

III. Fixar cronograma para a implantação dos sistemas de logística reversa;

IV. Aprovar estudos de viabilidade técnica e econômica;

V. Definir as diretrizes metodológicas para a avaliação dos impactos sociais e econômicos dos de logística reversa;

VI. Definir as embalagens que ficam dispensadas, por razões de ordem técnica ou econômica, da obrigatoriedade de fabricação com materiais que propiciem a reutilização e reciclagem;

VII. Definir a forma de realização da consulta pública relativa à proposta de implementação de sistemas de logística reversa;

VIII. Promover estudos e propor medidas para a desoneração tributária das cadeias produtivas sujeitas à logística reversa e simplificação dos procedimentos para o cumprimento de obrigações acessórias relativas à movimentação de produtos e embalagens sujeitos à logística reversa;

IX. Propor medida visando incluir nos sistemas de logística reversa os produtos e embalagens adquiridos diretamente de empresas não estabelecidas no País, inclusive por meio de comércio eletrônico;

X. Promover a revisão de acordo setorial, em até cinco anos, após a sua entrada em vigência.

O Ministério do Meio Ambiente (MMA) é o principal órgão envolvido com a gestão dos resíduos sólidos no Brasil. Por essa razão, além de ser designado coordenador do comitê interministerial, o órgão exercerá a presidência e atuará como secretaria-executiva do Comitê Orientador para implementação de sistemas de logística reversa.

No que diz respeito à responsabilidade compartilhada e as atribuições de geradores e consumidores, o decreto atribuir a responsabilidade dos resíduos aos geradores e aos consumidores.

De acordo com o art. 5º do decreto, são considerados geradores:

I. Fabricantes;

II. importadores;

III. distribuidores;

IV. comerciantes.

Os geradores devem estruturar e implementar sistemas de logística reversa, mediante retorno de produtos e embalagens após o uso pelo consumidor. Isso pode ocorrer por iniciativa direta de um setor ou após a expedição de regulamento determinando a obrigatoriedade desse instrumento.

O descumprimento do previsto no sistema de logística reversa implica em infração ambiental por poluição, nos termos do art. 61 do Decreto 6.514/2008. Com base nesse dispositivo, as multas para os infratores podem variar entre cinco mil e cinqüenta milhões de reais.

No que tange à logística reversa, o decreto nº 7.404/2010 determina que os sistemas de logística reversa somente poderão ser implementados por meio dos seguintes instrumentos:

I. Acordos Setoriais;

II. Regulamentos expedidos pelo Poder Público;

III. Termos de compromisso.

Conforme o inciso I do art. 3º da lei federal 12.305/2010, os acordos são atos de natureza contratual, a serem firmados entre o poder público e os geradores, visando a implantação da responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos.

No artigo 30 do decreto nº 7.404/2010 fica determinado que independente da existência dos acordos setoriais, os sistemas de logística reversa poderão ser implantados via Decretos editados pelo poder executivo.

No caso dos Termos de Compromisso, de acordo com o artigo 32 do decreto nº 7.404/2010, apenas poderão ser firmados termos de compromisso para a implementação de sistemas de logística reversa em duas hipóteses:

I. quando não houver, em uma mesma área de abrangência, acordo setorial ou regulamento específico; ou

II. para a fixação de compromissos e metas mais exigentes que o previsto em acordo setorial ou regulamento.

Sobre os planos de gestão de resíduos, de acordo com o artigo 8º da lei federal 12.305/2010, eles são considerados o principal instrumento para implementação do PNRS.

De acordo com a Lei federal 12.305/2010, há cinco tipos de planos sob competência do Poder Público:

I. O plano nacional de Resíduos Sólidos;

II. os Planos estaduais de resíduos sólidos;

III. os planos microrregionais de resíduos sólidos e os planos de resíduos sólidos de regiões metropolitanas ou aglomerações urbanas;

IV. os planos intermunicipais de resíduos sólidos; e

V. os planos municipais de gestão integrada de resíduos sólidos.

Além desses 5 tipos de planos, há um plano de gestão de resíduos sob responsabilidade do setor privado, que ficará sob competência dos geradores. Este plano de gerenciamento é um documento que comprova o atendimento às normas ambientais por parte da empresa, sendo parte do processo de licenciamento ambiental daquelas que estão sujeitas ao ato administrativo.

Além dos temas descritos acima, o decreto nº 7.404/2010 aborda também a questão da geração e gerenciamento dos resíduos perigosos, criando a obrigatoriedade de criação de um plano de gerenciamento exclusivo para os resíduos perigosos, podendo esse plano estar incluído no plano de gerenciamento de resíduos do gerador.

Além da resolução CONAMA nº 404/2008 e a Lei Federal 12.305/2010, que institui a Política Nacional dos Resíduos Sólidos, pode-se destacar na esfera federal ainda diversas outras resoluções CONAMA que regulam o gerenciamento de resíduos no Brasil. A tabela 4.1.1. apresenta de forma resumida esta legislação federal.

Tabela 4.1.1. - Resumo de leis/resoluções referentes ao gerenciamento de resíduos no Brasil.

Lei / Resolução	Descrição
Portaria MINTER 053/1979	Estabelece obrigatoriedade de aprovação de órgão estadual para projetos de tratamento e disposição de resíduos sólidos
Resolução CONAMA 1-A/1986	Dispõe sobre transporte de produtos perigosos
Resolução CONAMA 05/1993	Dispõe sobre gerenciamento de resíduos sólidos gerados em portos, aeroportos, terminais rodoviários e ferroviários
Resolução CONAMA 023/1996	Regulamenta a importação e uso de resíduos perigosos e dispõe sobre classificação de resíduos
Resolução CONAMA 307/2002	Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil.
Resolução CONAMA 313/2002	Dispõe sobre o Inventário Nacional de Resíduos Sólidos Industriais
Resolução CONAMA 316/2002	Dispõe sobre procedimentos e critérios para o funcionamento de sistemas de tratamento térmico de resíduos
Resolução CONAMA 358/2005	Dispõe sobre tratamento e disposição final dos resíduos dos sistemas de saúde
Resolução CONAMA 401/2008	Estabelece os limites máximos de chumbo, cádmio e mercúrio para pilhas e baterias comercializadas no território nacional e os critérios e padrões para o seu gerenciamento ambientalmente adequado
Resolução CONAMA 404/2008	Estabelece critérios e diretrizes para o licenciamento ambiental de aterro sanitário de pequeno porte de resíduos sólidos urbanos
Resolução CONAMA 416/2009	Dispõe sobre a prevenção à degradação ambiental causada por pneus inservíveis e sua destinação ambientalmente adequada
Lei Nº 12305/2010	Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998

Fonte: MAGRINI, 2010.

Pela tabela 4.1.1. fica mais simples de perceber o quão recente é a legislação brasileira referente aos resíduos sólidos e o seu gerenciamento. Nesta tabela, 8 das 12 leis/resoluções listadas foram promulgadas depois de 2002, ou seja, mais da metade da legislação citada na tabela possui menos de 10 anos de existência.

Além das leis e resoluções apresentadas na tabela 4.1.1., as normas técnicas lançadas pela ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) são de extrema importância dentro do gerenciamento de resíduos, uma vez que qualquer lei poderá obrigar a utilização de uma NBR (Norma Brasileira) como padrão sobre algum procedimento, operação ou atividade no gerenciamento de resíduos. A tabela 4.1.2. concentra as principais NBRs relacionadas ao gerenciamento de resíduos no Brasil, acompanhada com uma breve discussão do que a norma trata.

Tabela 4.1.2. - Resumo de algumas NBRs referente ao gerenciamento de resíduos no Brasil.

NBR	Descrição
NBR 10.004	Resíduos Sólidos - Classificação
NBR 10.007	Amostragem de Resíduos
NBR 8418	Apresentação de Projetos de Aterros de Resíduos Industriais Perigosos
NBR 8419	Apresentação de Projetos de Aterros Sanitários de Resíduos Sólidos Urbanos
NBR 10.157	Aterros de Resíduos Perigosos – Critérios para Projeto, Construção e Operação
NBR 13.896	Aterros de Resíduos Não - Perigosos – Critérios para Projeto, Construção e Operação
NBR 11.174	Armazenamento de Resíduos
NBR 13.221	Transporte de Resíduos
NBR 12.808	Resíduos de Serviços de Saúde - Classificação
NBR 12.810	Coleta de Resíduos de Serviços de Saúde - Procedimento

Fonte: MAGRINI, 2010.

As NBRs são editadas pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), que é o órgão responsável pela normalização técnica no país, fornecendo a base necessária ao desenvolvimento tecnológico brasileiro. Essas normas introduzem no contexto nacional as normas praticadas mundialmente através das ISOs (*International Organization for Standardization*).

No Brasil, qualquer planta de incineração, para o tratamento térmico de qualquer tipo de resíduo deverá passar pelo processo de licenciamento, previsto na resolução CONAMA nº 237 de 1997.

Como visto na tabela 4.1.2., o Conselho Nacional do Meio Ambiente editou uma resolução específica para as plantas de incineração, a resolução CONAMA nº 316/2002, que dispõe sobre os procedimentos e critérios para o funcionamento de sistemas de tratamento térmico de resíduos. Considerando que a resolução CONAMA nº 316/2002 estabelece os limites máximos de emissão para poluentes a serem lançados na atmosfera, nas águas e no solo, por sistemas de tratamento térmico, esta CONAMA contribui na implementação do Sistema de Licenciamento de Atividades Poluidoras, pois cria novas condicionantes para os projetos de incineração de resíduos.

A resolução CONAMA nº 316/2002 destina-se a disciplinar os processos de tratamento térmico de resíduos e cadáveres, estabelecendo procedimentos operacionais, limites de emissão e critérios de desempenho, controle, tratamento e

disposição final de efluentes. Estão excluídas da disciplina da resolução os rejeitos radioativos, os quais seguem a normatização específica da Comissão Nacional de Energia Nuclear - CNEN; o co-processamento de resíduos em fornos rotativos de produção de clínquer, que seguem a Resolução CONAMA específica nº 264, de 26 de agosto de 1999, salvo a disposição sobre dioxinas e furanos, que deve seguir o estabelecido no artigo 38 da CONAMA nº 316/2002, como mostra a tabela 4.1.3..

Tabela 4.1.3. - Limite máximo de emissão de poluentes conforme resolução CONAMA 316/2002.

Poluentes	Limite
Material Particulado (MP)	70 mg/Nm^3
Substâncias inorgânicas na forma particulada Classe 1 (Cd, Hg e Tl)	0,28 mg/Nm^3
Substâncias inorgânicas na forma particulada Classe 2 (As, Co, Ni, Te e Se)	1,4 mg/Nm^3
Substâncias inorgânicas na forma particulada Classe 3 (Sb, Pb, Cr, CN, Cu, Sn, F, Mn, Pt, Pd, Rh e V)	7 mg/Nm^3
Dióxido de Enxofre (SO_2)	280 mg/Nm^3
Dióxido de Nitrogênio (NO_2)	560 mg/Nm^3
Monóxido de Carbono	100 ppm/Nm^3
Compostos Clorados Inorgânicos (medido como HCl)	80 mg/Nm^3
Compostos Fluorados Inorgânicos (medido como HF)	5 mg/Nm^3
Dioxinas e Furanos (expressos em TEQ)	0,50 ng/Nm^3

Fonte: CONAMA 316/2002.

Conforme artigo 4º, a adoção de sistemas de tratamento térmico de resíduos deve ser precedida de um estudo de análise de alternativas tecnológicas que comprove que a escolha da tecnologia adotada está de acordo com o conceito de melhor técnica disponível. Os resíduos a serem recebidos pelo tratamento térmico deverão ser documentados, possuindo como, origem, quantidade e caracterização.

Esta resolução também determina que os sistemas de tratamento térmico para resíduos industriais deverão atingir a taxa de eficiência de destruição e remoção (EDR) superior ou igual a 99,99% para o principal composto orgânico perigoso (PCOP) definido no teste de queima. Além disso, determina que todo sistema crematório deve ter, no mínimo, a câmara de combustão e a câmara secundária para queima dos voláteis, e que, a câmara secundária deverá operar à temperatura mínima de oitocentos graus Celsius (800ºC), o tempo de residência dos gases em seu interior

não poderá ser inferior a um segundo, e o sistema só pode iniciar a operação após a temperatura da câmara secundária atingir a temperatura de oitocentos graus Celsius (800ºC).

A resolução remete mais especificamente aos resíduos de origem urbana a partir do artigo 22. Este artigo determina que qualquer sistema de tratamento térmico de resíduos de origem urbana, deve atender os seguintes condicionantes, sem prejuízo de outras exigências estabelecidas no procedimento de licenciamento e legislações complementares:

I - área coberta para o recebimento de resíduos;

II - sistema de coleta e tratamento adequado do chorume.

No artigo seguinte fica determinado que a implantação do sistema de tratamento térmico de resíduos de origem urbana deve ser precedida da implementação de um programa de segregação de resíduos, em ação integrada com os responsáveis pelo sistema de coleta e de tratamento térmico, para fins de reciclagem ou reaproveitamento, de acordo com os planos municipais de gerenciamento de resíduos. Possuindo este programa de segregação um cronograma de metas para a segregação dos percentuais de resíduos tratados pelo sistema de tratamento térmico.

Todo e qualquer sistema de tratamento térmico deve possuir unidades de recepção, armazenamento, alimentação, tratamento das emissões de gases e partículas, tratamento de efluentes líquidos, tratamento das cinzas e escórias.

No artigo 27 estabelece que o monitoramento e o controle dos efluentes gasosos devem incluir, no mínimo:

I - equipamentos que reduzam a emissão de poluentes, de modo a garantir o atendimento aos Limites de Emissão fixados no artigo 38 da resolução. (tabela 3);

II - disponibilidade de acesso ao ponto de descarga, que permita a verificação periódica dos limites de emissão fixados nesta Resolução;

III - sistema de monitoramento contínuo com registro para teores de oxigênio (O_2) e de monóxido de carbono (CO), no mínimo, além de outros parâmetros definidos pelo órgão ambiental competente;

IV - análise bianual das emissões dos poluentes orgânicos persistentes e de funcionamento dos sistemas de intertravamento.

De acordo com o artigo 40, "*Art. 40. O lançamento de efluentes líquidos em corpos d´água deve atender os limites de emissão e aos padrões de qualidade estabelecidos pela legislação, obedecendo, também, os critérios constantes da Resolução CONAMA nº 20, de 18 de junho de 1986, e demais exigências estabelecidas no licenciamento ambiental.*", fica explicito a necessidade de conformidade das operações dos sistema de tratamento térmico com resoluções CONAMA pré-existentes. Porém, a resolução CONAMA nº 20/1986 foi revogada, sendo esta substituída pela resolução CONAMA nº 357 de 2005.

Nos casos de instalações já licenciadas e em funcionamento, antes desta resolução, o empreendedor deve firmar, junto ao órgão competente, Termo de Compromisso Ambiental para a adequação dos sistemas às exigências da presente Resolução, ficando a critério do órgão responsável pelo licenciamento a determinação do prazo limite para a adequação dos equipamentos ou sistemas de tratamento térmico, já em funcionamento, à presente Resolução. Além disso, os sistemas de tratamento que, na data de publicação da resolução, estavam operando sem a adequada licença ambiental, devem requerer a regularização do seu empreendimento no prazo máximo de 90 dias.

O artigo 46 conclui estabelecendo que, no caso de não cumprimento ao que dispões esta resolução, os infratores estarão sujeitos as sanções e penalidades estabelecidas na Lei nº 9.605, Lei dos Crimes Ambientais, de 12 de fevereiro de 1998 e no Decreto nº 3.179, de 21 de setembro de 1999, sem prejuízo de outras sanções cabíveis.

Existem ainda algumas regulamentações específicas para a prática de co-processamento. No Brasil, a prática da incineração dedicada não é muito comum, porém, no que diz respeito à incineração de resíduos industriais, o co-processamento, ou co-incineração, é uma prática bastante comum e difundida no país pelas empresas produtoras de cimento. O co-processamento no Brasil é predominantemente realizado com os resíduos perigosos. Devido a esta demanda, o Conselho Nacional do Meio Ambiente editou uma resolução especificamente para o licenciamento destas atividades, uma vezes que são atividades com um grande potencial de poluição. A resolução CONAMA nº 264 de 1999 dispõe portanto sobre procedimentos, critérios e aspectos técnicos específicos do licenciamento ambiental para o co-processamento de resíduos em fornos rotativos de clínquer, para a fabricação de cimento.

Normalmente o resíduo enviado para o co-processamento é o resíduo industrial perigoso (classe I), classificado conforme critérios de classificação da norma ABNT 10.004. Este resíduo, normalmente com alto poder calorífico, irá servir de combustível durante o processo de fabricação do clínquer nos fornos rotativos de cimenteiras. Além do co-processamento eliminar este resíduo com alto potencial poluidor, o co-processamento irá reduzir a quantidade de resíduos fósseis utilizado pelos fornos, e por último, as cinzas geradas no processo serão aglomeradas ao produto final, o clínquer, não havendo portanto, geração de sub-produto indesejado durante este processo.

A seguir, na tabela 4.1.4., é feita uma comparação dos limites de emissões estabelecidos pelas regulamentações para o uso de incineradores nos países estudados e na União Européia. Pelos dados da tabela é possível observar que a Alemanha e a UE possuem os limites mais restringentes para a emissão de poluentes na atmosfera, principalmente no que diz respeito às dioxinas e furanos. Os EUA por outro lado, possuem um limite de emissão das dioxinas e furanos que está muito acima do que é permitido na Alemanha e no Brasil, cerca de 130 vezes maior do que o limite Alemão, e cerca de 26 vezes o limite do Brasil.

Tabela 4.1.4. - Tabela comparativa dos limites de emissões estabelecidos por regulamentações em cada país e na UE para o uso de incineradores.

	CONAMA nº 316/2002 (Brasil)	**40 CFR 60 (EUA)**	**Diretiva 2000/76/CE (UE)**	**17th *BImSchV* (Alemanha)**
Limite máximo de emissão de poluentes (mg/Nm^2)				
Ácido Clorídrico (HCl)	80	30	10	10
Ácido Fluorídrico (HF)	5	-	1	1
Óxido de Nitrogênio (NOx)	560	305	200	200
Óxido de Enxofre (SOx)	280	85	50	50
Material Particulado	70	20	10	10
Dioxinas e Furanos	0,50 ng/Nm^2	13 ng/Nm^2	0,10 ng/Nm^2	0,10 ng/Nm^2

Fonte: Elaboração própria.

Ainda analisando a tabela 4.1.4., no Brasil os limites de emissão para os outros poluentes além das dioxinas e furanos são os menos restringentes dentre os analisados, com destaque novamente para os limites de emissões praticados pela Alemanha.

Tabela 4.1.5. - Resumo das principais leis relativas ao uso dos aterros e à incineração.

-	Alemanha	EUA	União Européia	Brasil
Legislação Aterros	Technical Instructions on Waste from Human Settlements (TASi) de 1993, e Waste Storage Ordinance (AbfAbIV) de 2001	40 CFR 258	Diretiva 1999/31/CE	Resolução CONAMA nº 404/2008
Legislação Incineração	17ª portaria da Implementação do Ato Federal de Controle de Emissões - 17th BImSchV	40 CFR 60 e 40 CFR 62	Diretiva 2000/76/CE	Resolução CONAMA nº 316/2002

Fonte: Elaboração própria.

4.2. OS SISTEMAS DE TRATAMENTO E DISPOSIÇÃO

No mundo inteiro, com algumas poucas exceções, os aterros sanitários ainda representam a principal destinação final dos resíduos sólidos, apesar do imenso esforço em se reduzir, reutilizar e reciclar. Apesar da contradição, nos países em desenvolvimento, o aterro sanitário tem sido a mais importante meta a alcançar, com vistas a um tratamento adequado dos resíduos em alternativa à pratica dos lixões. No Brasil já existe um número significativo de aterros sanitários em operação, principalmente nas Regiões Sudeste e Sul. Por outro lado, nas demais regiões, os aterros sanitários são menos comuns. A grande dificuldade reside nos custos de operação de um aterro sanitário, que pressupõe um tratamento adequado de líquidos, gases e efluentes, além de todos os demais cuidados previstos na norma técnica NBR 8419.

Explicando a afirmação do parágrafo acima que diz "*Apesar da contradição, nos países em desenvolvimento, o aterro sanitário tem sido a mais importante meta a alcançar...*" pode-se dizer que esta contradição se constitui no fato de que a tendência mundial esta voltada para a redução ao mínimo da prática da aterragem, priorizando diferentes tipos de tratamento, deixando como última opção o envio dos resíduos para o aterro. O aterro, por melhor que seja a qualidade do seu projeto e sua conseqüente execução, constitui-se em uma prática que agride os elementos do meio ambiente, entre eles a água (superficiais e subterrâneas, leia-se lençóis freáticos), a terra e o ar. Porém, apesar dos impactos advindos da atividade de aterragem, os países em desenvolvimento, inclui-se o Brasil, buscam aumentar o número de aterros sanitários em operação, pois um grande montante deste resíduo gerado no país ainda é enviado para os lixões, ou seja, para a forma mais agressiva à natureza de se dispor os resíduos sólidos urbanos.

No Brasil, comprova-se esta ampla utilização dos lixões através de dados do estudo mais recente da ABRELPE (2009). Segundo este estudo, 43% dos resíduos produzidos no país teve uma destinação final inadequada, ou seja, foi enviado para lixões ou para aterros controlados, e os 57% restante foi enviado para aterros sanitários (figura 4.2.1.).

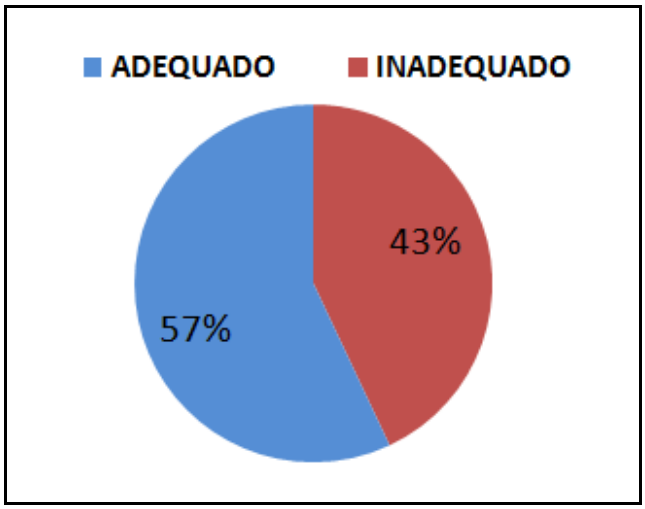

Figura 4.2.1. - Destinação final dos RSU coletados no Brasil em 2009. **Fonte:** ABRELPE, 2009.

No Brasil, de acordo com a constituição de 1988, é de competência do poder público local o gerenciamento dos resíduos sólidos produzidos em suas cidades. Segundo a Pesquisa Nacional de Saneamento Básico - PNSB 2008, 61,2% das prestadoras dos serviços de manejo dos resíduos sólidos eram entidades vinculadas à administração direta do poder público; 34,5%, empresas privadas sob o regime de concessão pública ou terceirização; e 4,3%, entidades organizadas sob a forma de autarquias, empresas públicas, sociedades de economia mista e consórcios.

De acordo com dados da PNSB (2008), o Brasil se constitui de um total de 5.564 municípios. Como dito no parágrafo anterior, é responsabilidade dos municípios o gerenciamento dos resíduos sólidos gerados localmente, e como no Brasil a grande maioria dos municípios são constituídos por pequenas populações e com uma administração municipal falha, logo pode-se dizer que na verdade os dados de gerenciamento de resíduos sólidos urbanos nos municípios brasileiros são ainda piores do que os dados da figura 4.2.1.. No Brasil, considerando as 3 maiores formas de destinação praticada, os vazadouros a céu aberto (lixões), os aterros controlados e os aterros sanitários, observa-se uma distribuição destas de acordo com a tabela 4.2.1..

Tabela 4.2.1. - Destino final dos resíduos sólidos, por unidades de destino dos resíduos Brasil - 1989/2008

Ano	Destino final dos resíduos sólidos, por unidades de destino dos resíduos (%)		
	Vazadouro a céu aberto	Aterro controlado	Aterro sanitário
1989	88,2	9,6	1,1
2000	72,3	22,3	17,3
2008	50,8	22,5	27,7

Fonte: PNSB (2008)

Os dados da figura 4.2.1. e os dados da tabela 4.2.1. apresentam informações de origem semelhante, porém expõem informações diferentes. Na figura 4.2.1., os dados foram mensurados considerando todo o volume de resíduo produzido e destinado no país. No caso da tabela 4.2.1., os dados foram obtidos considerando o número de locais/unidades existentes para a destinação dos resíduos no país.

As informações presentes no gráfico da figura 4.2.1. e na tabela 4.2.1. se complementam, por exemplo, de acordo com a figura 1, 57% dos resíduos produzidos são enviados para aterros sanitários (forma adequada), e de acordo com a tabela, esses aterros representam apenas 27,7% dos locais de destinação existentes em todo o país. Esta diferença se justifica pois os aterros sanitários existentes possuem um tamanho mínimo para sua construção e viabilidade, diferentemente dos lixões, que se propagam e se iniciam em qualquer lugar, sem controle algum, apresentando-se assim em maior número do que de aterros sanitários. Em contrapartida, os “poucos” aterros regulares (sanitários) existentes possuem uma capacidade de recebimento/aterragem de resíduo muito superior do que os locais irregulares de despejo, ultrapassando a quantidade de resíduo recebido pelos lixões no Brasil.

Como dito há alguns parágrafos, a tendência atual dos países em desenvolvimento é o aumento contínuo no uso dos aterros sanitários. A figura 4.2.2. traz dados que confirmam esta afirmação. De acordo com os dados comparativos presentes na figura, retirados do relatório de 2008 e 2009 da ABRELPE, houve um aumento do total de resíduos enviado aos aterros sanitários, saindo de 81.710 toneladas/dia, para 91.524 toneladas/dia. Esse aumento ocorreu também no percentual enviado ao aterro de 2008 para 2009, saindo de 54,8% em 2008, para 56,8% em 2009 (ABRELPE, 2008 e 2009).

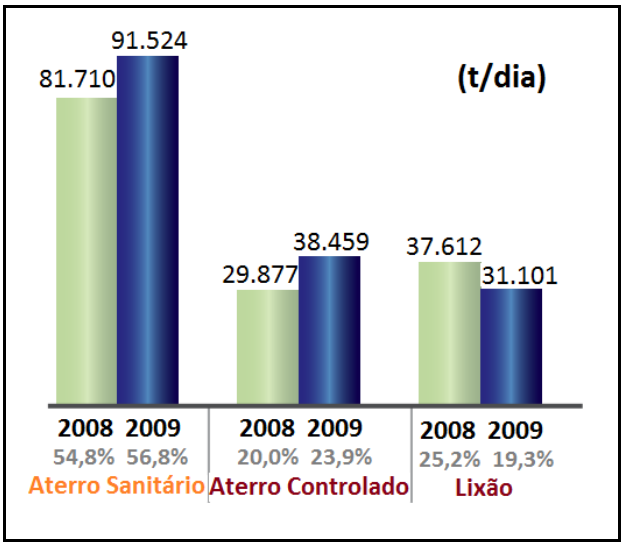

Figura 4.2.2. - Destinação final dos RSU no Brasil em 2008 e 2009. **Fonte:** ABRELPE, 2008 e 2009.

Um estudo do CEPEA, o Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada da USP, do ano de 2004 revela alguns dados sobre os aterros sanitários espalhados no Brasil. Neste estudo, foram levantados os dados sobre 23 regiões metropolitanas do nosso país, abordando aspectos relativos ao gerenciamento dos resíduos. O gráfico da figura 4.2.3. mostra a situação quanto às licenças dos aterros em operação nestas regiões do estudo.

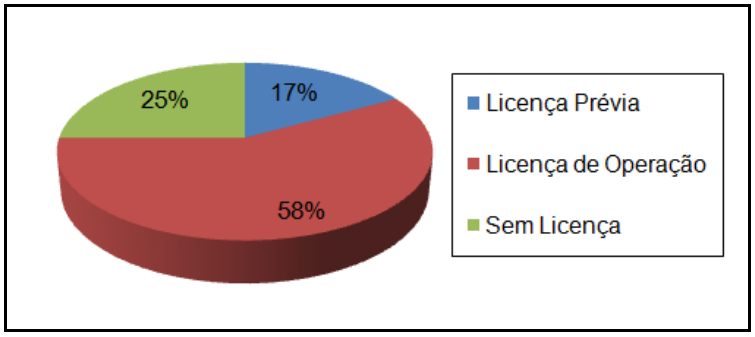

Figura 4.2.3. - Situação das licenças dos aterros das principais regiões metropolitanas do Brasil. **Fonte:** CEPEA, 2004.

A maioria dos aterros, 58%, possui a licença de operação para seu funcionamento. Do total, 17% deles operam apenas com licença prévia e 25% estão sem licença alguma. Essa porcentagem de aterros sem licença, ou apenas com licença prévia, é muito expressiva e indica que, além dos lixões existentes, há também áreas denominadas como aterros que estão recebendo lixo de forma inadequada e sem condições legais de funcionamento.

No Brasil, apesar da prática de utilização dos aterros ser a mais praticada dentre as opções no gerenciamento dos resíduos, ainda há uma carência muito grande em

estudos precisos sobre as condições de operação dos aterros e lixões espalhados pelos territórios, principalmente os que estão localizados nas pequenas cidades e nas regiões mais remotas do estado.

Através da figura 4.2.4., fica mais evidente a relação existente entre o tamanho populacional de uma cidade, e a sua principal forma de destinar seus RSUs. Pela figura observa-se que quanto menor é o número de habitantes de uma cidade, maiores são as taxas de uso dos lixões, e consequentemente menores são as taxas de uso dos aterros sanitários e controlados.

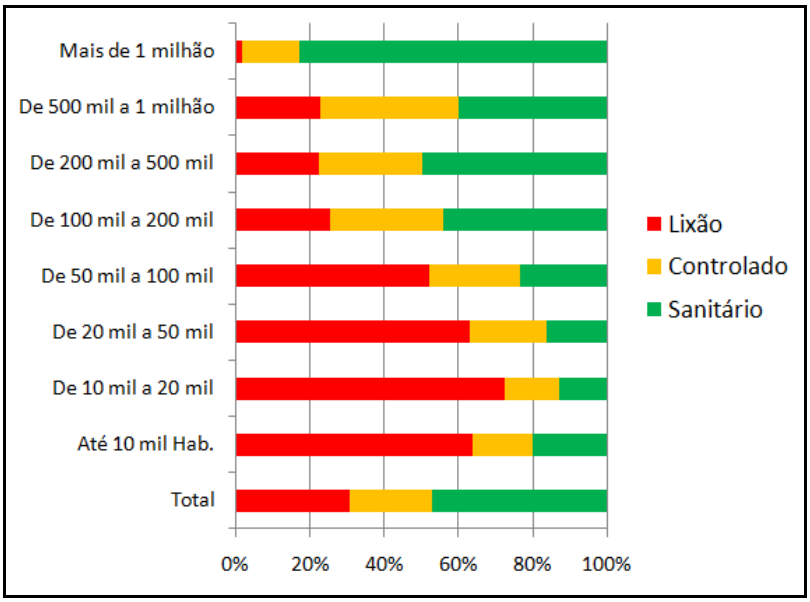

Figura 4.2.4. - Percentual do volume do lixo coletado, por tipo de destino final, segundo os estratos populacionais dos municípios. **Fonte**: Elaboração própria a partir de dados da PNSB, 2000.

No caso das cidades que concentram mais de 1 milhão de habitantes, a quantidade de RSU que é enviado para os lixões não chega sequer a 2% (1,8%), diferentemente das cidades com população entre 10 e 20 mil habitantes, que enviam cerca de 72% dos seus resíduos para os lixões. Como dito há alguns parágrafos, o projeto e a viabilidade de construção/operação de aterro sanitário está intimamente relacionado com o volume de resíduos recebido pelo mesmo. No caso das cidades menores, não há um volume de resíduos que viabilize economicamente a construção de uma estrutura mínima para se estabelecer um aterro.

A atual solução viável para estas pequenas cidades é a parceria entre diferentes prefeituras e o setor privado, as PPP (Parceria público-privada), onde a empresa privada irá administrar um aterro sanitário nas condições adequadas para receber os

resíduos de mais de uma cidade de pequeno porte, conseguindo assim atingir um volume mínimo necessário à viabilidade de operação do aterro.

A fim de viabilizar economicamente a implantação e a operação dos aterros sanitários de grande porte, uma quantidade crescente de aterros sanitários está realizando a captura do biogás que é gerado durante a decomposição da matéria orgânica presente nos resíduos. Esse gás, composto em sua maioria por metano (~50%), têm normalmente 2 destinações diferentes: ou é queimado em flares para que o metano presente se transforme em dióxido de carbono, ou então é tratado e aproveitado energeticamente em sistemas de produção de energia elétricas. Qualquer uma das duas opções trará uma redução nas emissões de gases de efeito estufa, e conseqüentemente a geração de crédito de carbono. Esses créditos de carbono são vendidos normalmente e essa receita é incorporada de forma positiva no balanço econômico do empreendimento.

De acordo com dados do Ministério de Ciência e Tecnologia (tabela 4.2.2.), atualmente existem 477 projetos brasileiros para a produção de créditos de carbono no âmbito do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo. Do total de projetos, 36 (7,5 %) são projetos de captura do biogás de aterro para sua queima em flare ou para a utilização como combustível, substituindo algum combustível fóssil (MCT, 2011).

Tabela 4.2.2. - Distribuição das atividades de projeto no Brasil por tipo de projeto.

Projetos em Validação/Aprovação	Número de projetos	Número de projetos	Redução anual de emissão
Energia renovável	245	51,4%	39,8%
Aterro Sanitário	36	7,5%	22,7%
Redução de N2O	5	1,0%	12,6%
Suinocultura	76	15,9%	8,4%
Troca de combustível fóssil	46	9,6%	6,6%
Eficiência Energética	30	6,3%	4,3%
Reflorestamento	2	0,4%	0,9%
Processos industriais	14	2,9%	2,0%
Resíduos	19	4,0%	1,4%
Emissões fugitivas	4	0,8%	1,4%

Fonte: MCT, 2011.

Apesar de representar apenas 7,5% dos projetos de MDL no Brasil, a tabela 4.2.2. mostra que os projetos relativos à redução de emissões nos aterros representam 22,7% do total de redução das emissões dos gases de efeito estufa no Brasil. Os dados apresentados mostram o potencial de redução de emissão de cada projetos de captura de biogás nos aterros.

A seguir serão descritos 2 dos maiores aterros existentes no Brasil, o Aterro Bandeirantes e o Aterro de Gramacho. Além desses, também será brevemente descrito o aterro de Seropédica que está em fase de construção.

- Aterro Bandeirantes

Pode-se dizer que o aterro Bandeirantes é um dos maiores do mundo. Lá estão aterradas 34 milhões de toneladas de resíduos diversos, ocupando uma área de 1,4 milhão de metros quadrados. O aterro possui uma característica vertical impressionante. No ponto mais alto do aterro existem 150 metros de lixo soterrado.

Desde 2007 o aterro está fechado para o recebimento de resíduos. Ele não recebe mais resíduos por falta de capacidade, mas apesar disso continua em plena operação para outros fins. Hoje em dia, o negócio do aterro Bandeirantes é a captação de gases provenientes da decomposição do lixo aterrado e a negociação de créditos de carbono, um negócio milionário que se criou em cima do lixo (BURGER, E. 2010).

O aterro Bandeirantes mesmo já estando fechado não é um assunto finalizado. O resíduo que em algum momento foi aterrado ainda vai dar trabalho, gerar custos e prejuízos ambientais por muito tempo. São gigantescas áreas inutilizadas, montanhas de matéria-prima desprezadas, toneladas de recursos financeiros enterrados. Prova de que o método de administração de aterros é multiplamente ineficiente.

Além disso, há também a questão do terreno que ao longo do tempo se movimenta devido à decomposição natural do material que está enterrado e por isso tem que ser constantemente monitorado por engenheiros e geólogos para prevenir acidentes no local. Uma área muito grande em constante monitoramento, gerando altos custos para se reduzir os riscos associados aos passivos de um aterro.

Mesmo com todos esses problemas associados ao uso dos aterros, as articulações entre prefeitura e concessionárias de serviço não são para a substituição do modelo, mas a urgente necessidade de liberação de uma próxima área de aterro.

- Aterro Gramacho

O aterro fica situado no Município de Duque de Caxias, RJ, no bairro de Jardim Gramacho, 1º Distrito (Duque de Caxias). Situado ás margens da Baia de Guanabara, ocupa atualmente uma área de aproximadamente 1,3 milhões de m². Foi instalado a partir de convênio firmado em 1976 entre a FUNDREM, a COMLURB e a Prefeitura

Municipal de Nilópolis, e com termos aditivos ao convênio foram incluídos os municípios de Nova Iguaçu e São João de Meriti (PINHEIRO, 2011).

Cerca de 80% do lixo produzido na região metropolitana do Rio de Janeiro, perto de 8.000 toneladas/dia, são enviados para ele e já ameaçam sua integridade e apontam para riscos de um grave desastre socioambiental.

O aterro está no limite de sua capacidade e já apresenta sinais que, uma parte do lixo acumulado ali nos últimos 30 anos, pode verter para dentro da Baia de Guanabara. Enquanto não se resolve essa equação, o Aterro de Gramacho como um paciente em estado terminal, permanece monitorado por aparelhos (inclinometros) ligados à sua massa de resíduos. Eles medem os movimentos do seu subsolo a fim de detectar e alertar, com seis meses de antecedência, a data em que o aterro deverá encerrar suas atividades (COMLURB, 2010).

Mesmo com este risco iminente, dentro do aterro uma massa de trabalhadores informais, estimada entre 3.000 a 4.000 catadores de materiais recicláveis, vem a quase 30 anos exercendo essa atividade na superfície do aterro, catando os materiais que têm valor no mercado da reciclagem, resgatando aquilo que a sociedade em geral descartou como rejeito.

No mesmo aterro de Gramacho, uma parceria entre a prefeitura do Rio de Janeiro, a Comlurb e a Novo Gramacho Energia Ambiental concretizou a implantação da Usina de Biogás do Aterro Metropolitano de Jardim Gramacho, que tem por finalidade a captação e queima do biogás produzido pela decomposição da matéria orgânica proveniente dos resíduos depositados no aterro de Gramacho.

A usina de biogás do aterro de Gramacho é o maior projeto de redução de emissões dos gases de efeito estufa do Brasil. Esta iniciativa abrange amplo aspecto socioambiental através da criação de fundos para a recuperação urbanística do bairro de Jardim Gramacho e para a capacitação dos trabalhadores que trabalham no local, para que possam se adequar à novas técnicas de reciclagem de resíduos após o encerramento do aterro.

A captação e o tratamento do biogás através da usina de recuperação têm uma estimativa de movimentar cerca de 407 milhões de reais, assegurando a manutenção do aterro por até 15 anos após o seu encerramento, com atenção especial ao monitoramento ambiental e geotécnico. Está previsto que boa parte das receitas

obtidas através da venda dos créditos de carbono será repassada para a Comlurb e para a prefeitura de Duque de Caxias (COMLURB, 2010).

- Aterro Sanitário de Seropédica

O aterro sanitário de Seropédica está na sua etapa de contrução. Este aterro está sendo construído para que possa ocorrer o fechamento definitivo das atividades de disposição no Aterro de Gramacho. Todo o resíduo gerado na cidade do Rio de Janeiro, e o resíduos de algumas outras cidades passarão a ser destinados para este aterro.

Para o novo aterro de Seropédica, que ainda está no período de construção, será utilizada uma nova tecnologia que irá prover uma garantia extra para as águas subterrâneas da região, principalmente para o importante aqüífero presente no local, que foi e continua a ser a maior preocupação da população local e dos órgãos ambientais. Esta tecnologia, que é pioneira segundo as empresas responsáveis pela construção e administração do aterro, consiste na instalação de uma manta extra de PEAD na base do aterro, próxima à manta de PEAD originalmente instalada, e entre elas serão instalados sensores que detectam possíveis vazamentos do percolado do aterro caso a manta superior de PEAD tenha algum. Assim, o controle de possíveis acidentes com vazamento de chorume será muito mais preciso, possibilitando ações mitigadoras mais rápidas e mais eficazes, além da existência de uma camada impermeável extra de PEAD que auxiliará na contenção do possível vazamento quando detectado.

A escolha do local para a construção deste aterro que irá receber todo os RSUs da cidade do Rio de Janeiro foi o maior entrave de todo este projeto. As opções iniciais esbarravam em aspectos e impactos ambientais que inviabilizavam a utilização de determinados locais. O local final escolhido foi no município de Seropédica, porém há uma discussão dos habitantes locais e ambientalistas com o a outra parte interessada, a Companhia de Limpeza Urbana e a empresa que irá construir e administrar o aterro, que diz que a área escolhida é sobre um grande aqüífero que abastece a bacia hidrográfica local, e que a instalação do aterro mudará o regime de águas na região.

Apesar de ter sido escolhido e terem sido iniciadas as obras no local, pode-se dizer que o futuro aterro de Seropédica é controverso desde a sua concepção.

No que diz respeito ao uso da incineração para o tratamento dos RSU no Brasil, atualmente não há plantas de tratamento térmico (incineração) licenciadas e em

operação para a incineração de resíduos sólidos urbanos (RSU) em uma escala comercial. Há, na Ilha do Fundão, Rio de Janeiro (RJ), uma planta piloto para a incineração dos resíduos sólidos urbanos que produz energia elétrica a partir da energia liberada dos resíduos durante a queima, a Usina Verde. A discussão mais detalhada sobre esta usina será objeto de estudo do item 4.3.1..

A incineração no Brasil ainda se caracteriza pela existência de grande quantidade de incineradores de porte muito pequeno, instalados em hospitais, casas de saúde etc, especificamente para a incineração dos resíduos de serviços de saúde. São comumente equipamentos muito simples, com capacidade inferior a 100 kg/hora. A grande maioria destes, com honrosas exceções, estão hoje desativadas ou incinerando de forma precária, no geral com emissões bem elevadas.

Mesmo não sendo o foco de estudo do atual trabalho, além da incineração dos RSU, é importante falar um pouco da incineração dos Resíduos dos Serviços de Saúde (RSS) e dos Resíduos Sólidos Industriais (RSI), com uma ênfase em especial para a modalidade de co-incineração ou co-processamento, no caso dos RSI.

As resoluções federais atribuem aos geradores a responsabilidade pelo tratamento e destinação final dos Resíduos de Serviço de Saúde (RSS). Por esta razão, grande parte dos municípios que não possuem um serviço de saúde efetivo para a população, não irá realizar a coleta do mesmo, já que não os produzem, refletindo em números que mostram uma diferença entre as regiões do Brasil no total de municípios que realizam a coleta deste tipo de resíduo. Podemos perceber esta distribuição irregular do serviço de coleta de resíduos de serviços de saúde através da figura 4.2.5..

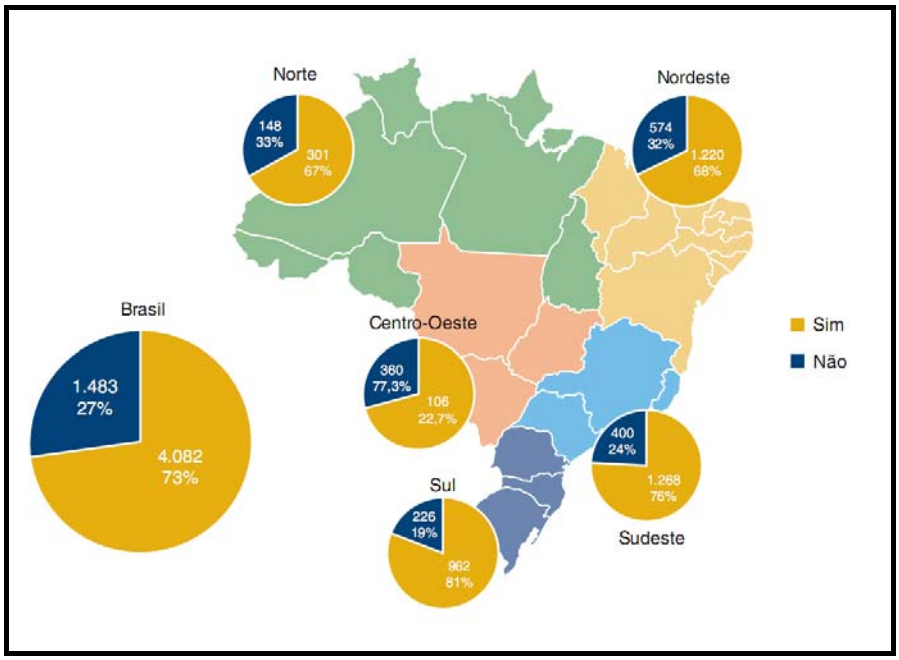

Figura 4.2.5. – Quantidade de municípios em que existem serviços de coleta de RSS por Macrorregiões e no Brasil em 2008. **Fonte:** ABRELPE, 2008.

A coleta de RSS executada por grande parte dos municípios brasileiros é parcial, o que contribui significativamente para o desconhecimento sobre a quantidade total e o destino dos RSS gerados no Brasil. Na figura 4.2.6. observa-se um gráfico com as formas de destinação dos RSS coletados praticadas pelos municípios e seus respectivos percentuais de utilização.

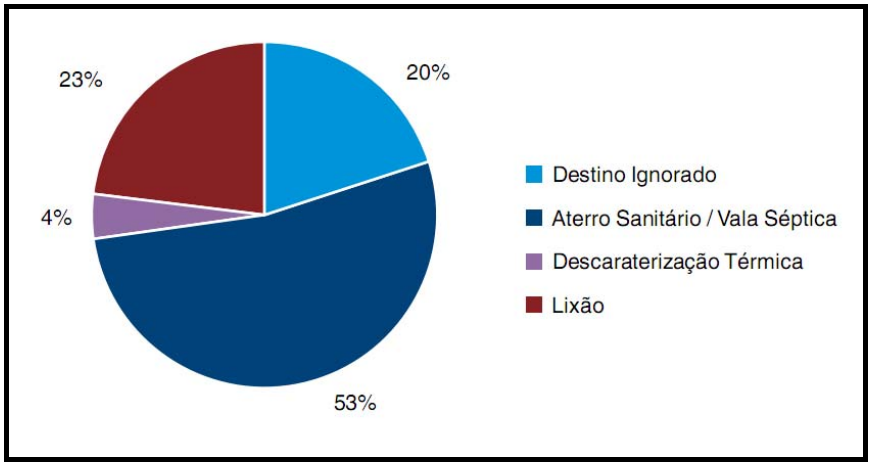

Figura 4.2.6. – Destino final dos RSS coletados por municípios brasileiros em 2008. **Fonte:** ABRELPE, 2008.

Os números da figura 4.2.6. são realmente alarmantes, pois apenas 4% do RSS coletado recebe o tratamento térmico, que é a opção com a menor quantidade e intensidade de impactos ambientais para este tipo de resíduo. Por outro lado, 53% deste resíduo é levado para Aterros Sanitários ou Valas Sépticas, que seria a segunda melhor opção na disposição final deste tipo de resíduo. Observam-se os piores

números quando analisamos o total enviado aos lixões, que chega a 23% do total coletado, além dos 20% restantes que têm o destino ignorado, tendo provavelmente uma destinação incompatível com a variável ambiental.

No nível nacional, quanto às perspectivas do uso de usina de incineração para o tratamento dos resíduos sólidos urbanos, de acordo com uma matéria de 2009 do jornal Folha de São Paulo (AMBIENTE BRASIL, 2009), o governo de São Paulo está considerando cada vez mais a opção dos incineradores devido às dificuldades de implantação de novos aterros de grande porte, como mostram trechos desta matéria:

> *"O governo de São Paulo está na fase final da elaboração de um plano para a construção de grandes usinas de incineração de lixo para colocar fim à falta de locais para aterros nas regiões metropolitanas e no litoral norte do Estado. Os estudos são feitos pela Emae - empresa estadual para a geração de energia - e começaram em 2004. A Emae negocia as usinas com as prefeituras. A ideia é implantar a primeira usina em dois anos.*
>
> *O plano da Emae é utilizar o lixo queimado para a geração de vapor e energia elétrica, subprodutos que podem bancar quase todo custo da operação, diz o diretor de geração da Emae, Antonio Bolognesi. Polêmica, a incineração de resíduos urbanos foi combatida por décadas por ambientalistas devido à emissão de poluentes altamente nocivos à saúde.*
>
> *O secretário do Verde e Meio Ambiente da cidade de São Paulo, Eduardo Jorge, é um dos críticos da incineração. "Essas usinas de incineração produzem dioxinas e furanos, substâncias que provocam câncer nas pessoas. Eles (os fabricantes das usinas) ainda precisam provar que o filtro que colocam é seguro", afirma. Os resíduos resultantes da queima também são considerados um problema ambiental, mas, segundo a Emae, o processo a ser adotado em São Paulo transforma esses restos em material inerte e próprio para a fabricação de blocos para serem usados na construção civil...*
>
> *...Há hoje um processo de esgotamento dos aterros sanitários licenciados no Estado. No litoral norte, as prefeituras chegam a transportar o lixo por até 120 km para aterros em Santa Isabel (Grande SP) e Tremembé (Vale do Paraíba). Em São Paulo, o aterro Bandeirantes está esgotado e o São João recebe só 10% do lixo - a maior parte dos resíduos vai para aterros em*

Caieiras e Guarulhos, apesar de lei municipal determinar que o depósito seja feito na própria cidade.

A Folha conversou com técnicos da Cetesb que defendem a implantação do método de incineração. O investimento, porém, é alto. Para queimar mil toneladas por dia - produção média de 1 milhão de pessoas no Brasil- uma usina custaria cerca de R$ 250 milhões. São Paulo produz cerca de 15 mil toneladas por dia, incluindo entulho de construção civil, lixo industrial e comercial e varrição de ruas. A Emae já orçou uma usina com capacidade para 600 toneladas/dia por R$ 200 milhões.

Concorrência - As usinas de lixo já têm hoje, de acordo com a Emae, capacidade para concorrer em custos com a energia eólica, considerada a forma mais limpa. André Vilhena, engenheiro químico e diretor-executivo do Cempre (Compromisso Empresarial para a Reciclagem), disse que a incineração tem baixo impacto poluente. "A tecnologia de incineração já é comprovadamente adequada. É muito usada na Europa e no Japão, por exemplo. Eles não iriam adotar a tecnologia se causasse câncer", afirmou..."

De acordo com a matéria, a maior dificuldade em se construir um novo aterro é a de encontrar um terreno nas proporções que um aterro demanda, e, além disso, de encontrar um terreno que não seja tão distante do local de geração do resíduo, a própria cidade.

Porém, como mostrado também na matéria, a opção pelas plantas de incineração não é tão simples assim. A emissão de dioxinas e furanos ainda é a maior preocupação na utilização das usinas, pois tratam-se de compostos altamente tóxicos com potencial cancerígeno. Antes de qualquer acordo de instalação, o secretário do Verde e Meio Ambiente da cidade de São Paulo, Eduardo Jorge, afirma que os fabricantes das usinas deverão comprovar que os filtros utilizados para conter esses componentes são seguros o suficiente. Além disso, pela matéria, o custo de instalação de uma usina ainda parece ser um dos desafios.

Por outro lado, a favor da utilização das usinas, está a geração de energia elétrica a partir da energia dos resíduos incinerados. As usinas gerarão energia elétrica e vapor d'água, podendo este vapor ser utilizado em processos de indústrias localizadas próximas à usina.

Outra matéria, de 15 de Dezembro de 2010, do jornal O Atibaiense (ATIBAIENSE, 2010), mostra que a cidade de Atibaia/SP, que fica a 60 km da capital, está em um estágio mais avançado na implantação de usinas de incineração de resíduos sólidos urbanos, conforme apresentado em alguns trechos da matéria abaixo.

> *"Nesta semana, a diretoria da Usinaverde S/A confirmou ao jornal O Atibaiense que o prefeito José Bernardo Denig vai fazer uma visita para conhecer as instalações da Usina Modelo na Cidade Universitária da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ). "Caso o prefeito se interesse por adotar uma solução moderna para a destinação final do lixo urbano do Município de Atibaia/SP, então deverá, como manda a Lei, lançar uma licitação pública para tal. Neste momento, a Usinaverde oferecerá sua proposta para implantação de uma Usina. Caso nossa proposta seja escolhida como a melhor, implantaremos uma Usinaverde em Atibaia", diz e-mail enviado para o jornal...*
>
> *...O projeto que Denig vai visitar é da Usinaverde, uma "licenciadora de suas tecnologias patenteadas, para projetos de implantação de Usinas de Tratamento Térmico de Resíduos Urbanos com Geração de Energia (Usinas de Reciclagem Energética). As soluções são modulares: módulos com capacidade para 150 ton/dia e para 300 ton/dia de lixo urbano, com geração de, respectivamente, 2,8 MW e 5,6 MW de energia elétrica, líquida do consumo da própria Usina", explica texto no site do projeto, que é da iniciativa privada, mas conta com parte da tecnologia desenvolvida pela Coppe/UFRJ...*
>
> *...O interessante da usina é que, além de dar uma destinação limpa e ecologicamente correta para o lixo, ainda gera energia. "Além de ser ecologicamente correta, a usina apresenta também uma faceta econômica, pois cerca de 90% do peso do lixo é transformado em energia. Graças a uma caldeira de recuperação de calor instalada no forno do projeto, o calor da incineração dos gases de combustão é aproveitado para gerar energia elétrica, suficiente para abastecer 2.300 residências, com um consumo médio de 200 kW/ mês", diz a Coppe. Essa quantidade de energia é da unidade modelo da universidade...*
>
> *...O custo para a implantação de uma usina desse porte, segundo avaliação da Coppe/UFRJ, é de cerca de R$ 23 milhões. "Tratando-se de tecnologia*

brasileira que utiliza equipamentos 100% fabricados no Brasil, o valor do investimento e os custos operacionais apresentam-se cerca de 50% inferiores aos de tecnologias semelhantes disponíveis no exterior", destaca a Usinaverde..."

4.3. O ESTADO DO RIO DE JANEIRO E SUA REGIÃO METROPOLITANA

De acordo com SEA RJ (2009), os 92 municípios do estado do Rio de Janeiro produzem cerca de 15.000 toneladas de resíduos sólidos urbanos por dia. De acordo com dados de 2009 da Secretaria do Ambiente do Estado do Rio de Janeiro, o gerenciamento dos resíduos no estado está distribuído desta forma:

- Aterros Sanitários: existem 8 licenciados em todo o estado. Esses aterros recebem os resíduos de 21 municípios. Eles estão localizados nos municípios de Macaé, Nova Friburgo, Nova Iguaçu, Piraí, Rio das Ostras, Santa Maria Madalena (privado), São Pedro da Aldeia (privado), Teresópolis;
- Aterros Controlados: existem 11 aterros controlados no estado, que recebem os resíduos de 16 municípios. Esses aterros se localizam nos seguintes municípios: Angra dos Reis, Barra do Piraí, Duque de Caxias (Gramacho), Guapimirim, Itaboraí, Miracema, Natividade, Petrópolis, Rio de Janeiro (Bangu), Porciúncula, Rio Bonito;
- Aterros em Implantação: existem 2 aterros em implantação, um em Campos dos Goytacazes (privado) e o outro em Miguel Pereira;
- Aterros em Licenciamento: existem 3 aterros que estão no seu processo de licenciamento. Esses aterros estão localizados nos municípios de Seropédica, Itaboraí, Barra Mansa;
- Lixões: existem 42 vazadouros em todo o estado do Rio de Janeiro. Destes total, 19 possuem catadores, crianças, animais e vetores no local.

O estado do Rio de Janeiro, através da então FEEMA - Fundação Estadual de Engenharia do Meio Ambiente, editou diversas diretrizes (DZs), normas técnicas (NTs) e intruções técnicas (ITs) relacionadas ao gerenciamento de resíduos no estado. A tabela 4.3.1. resume as principais diretrizes, normas técnicas e instruções técnicas editadas pela FEEMA.

Tabela 4.3.1. -Legislação estadual referente ao gerenciamento de resíduos.

DZ - 041	Diretriz para Implementação de Estudo de Impacto Ambiental (EIA) e respectivo Relatório de impacto Ambiental (RIMA)
DZ - 949	Diretriz de Implantação do Programa de "Bolsa de Resíduos"
NT - 574	Padrões de Emissão de Poluentes do Ar para Processos de Destruição Térmica de Resíduos
DZ - 1314	Diretriz para Licenciamento de Processos de Destruição Térmica de Resíduos
IT - 1302	Instrução Técnica para Requerimento de Licenças para Aterros Sanitários
IT - 1304	Instrução Técnica para Requerimento de Licenças para Aterros de Resíduos Industriais
IT - 1305	Instrução Técnica para Requerimento de Licenças para Processos de Destruição Térmica de Resíduos
DZ - 1310	Diretriz para Implantação de Manifesto de Resíduos Industriais
DZ - 1311	Diretriz de Destinação de Resíduos
DZ - 1313	Diretriz para Impermeabilização Inferior e Superior de Aterros de resíduos Industriais
DZ - 1905	Diretriz para Concessão de Certificação - Registro de Atividades Comercialização de Produtos Agrotóxicos, Domissanitários de Uso Profissional e afins

Fonte: MAGRINI, 2010.

Atualmente, no estado do Rio de Janeiro, é possível observar diferentes iniciativas da SEA (Secretaria Estadual do Ambiente - RJ) no que tange ao gerenciamento dos resíduos, através dos seus diferentes programas implementados por todo o estado do Rio de Janeiro. Estes programas compõem a Política Estadual para Resíduos Sólidos no estado do Rio de Janeiro. A tabela 4.3.2. apresenta cada um desses programas, além de uma breve descrição de cada programa.

Tabela 4.3.2. - Programas relacionados ao gerenciamento de resíduos da Secretaria Estadual do Ambiente do estado do Rio de Janeiro e uma breve descrição.

Programa	Descrição
Lixão Zero	Programa de erradicação dos lixões em todo o Rio de Janeiro, com a implantação de aterros sanitários pelas prefeituras, de forma consorciada, foi reforçado com a aprovação, de recursos para sua execução
Coleta Seletiva Solidária	Cadastro das organizações de catadores para participar do processo de implantação do programa de coleta seletiva de resíduos recicláveis nos órgãos e entidades da administração pública direta e indireta. Implantação de programa de coleta seletiva solidária nas repartições públicas estaduais através de cooperativas ou associações de catadores cadastradas.
Disque-Pneu	Programa de reciclagem de pneus usados, além de combater um dos grandes criadouros do mosquito transmissor da dengue. Os pneus recolhidos têm como destino a reciclagem, dando origem, dentre outros usos, a solas de sapatos, dutos de águas pluviais, tapetes para automóveis, pisos industriais e asfalto-borracha, que é mais resistente, flexível e absorve melhor a poluição sonora provocada pelo tráfego de veículos.
PROVE – Programa de Reaproveitamento de Óleos Vegetais	Um dos principais projetos da Superintendência de Clima e Mercado de Carbono, pretende transformar este resíduo em matéria prima visando a produção de biodiesel e a fabricação de sabões, contribuindo para a geração de trabalho e renda através da inclusão social
Sacolas Plásticas	Através da lei estadual das sacolas plásticas (Lei 5.502/2009) ficou determinado que a partir de 16/07, supermercados e estabelecimentos comerciais de médio e grande porte em todo o Estado adotem pelo menos uma entre três medidas para redução do uso de sacolas plásticas: desconto quando não utilizar sacolas plásticas, oferecer sacolas reutilizáveis gratuitamente ou criar posto de troca de sacolas por alimentos não-perecíveis
Geladeira Ecológica	O programa é uma parceria entre a Ampla e os governos do estado e federal. A iniciativa prevê a troca de geladeiras por outras que consomem menos energia e que não contêm CFC. O programa prevê também a retirada e o acondicionamento seguro do CFC das geladeiras velhas.

Fonte: Elaboração própria a partir de SEA, 2010

O programa “Lixão Zero” já apresenta alguns resultados. Através dele já foram implantados 6 consórcios municipais abrangendo 32 municípios para o tratamento e destinação dos resíduos sólidos urbanos. Além disso, quatro outros consórcios estão sendo implantados, abrangendo 15 municípios. Na figura 4.3.1. estão marcados no mapa algumas formações de consórcios para a construção de infra-estrutura para o tratamento e disposição dos resíduos (SEA RJ, 2009).

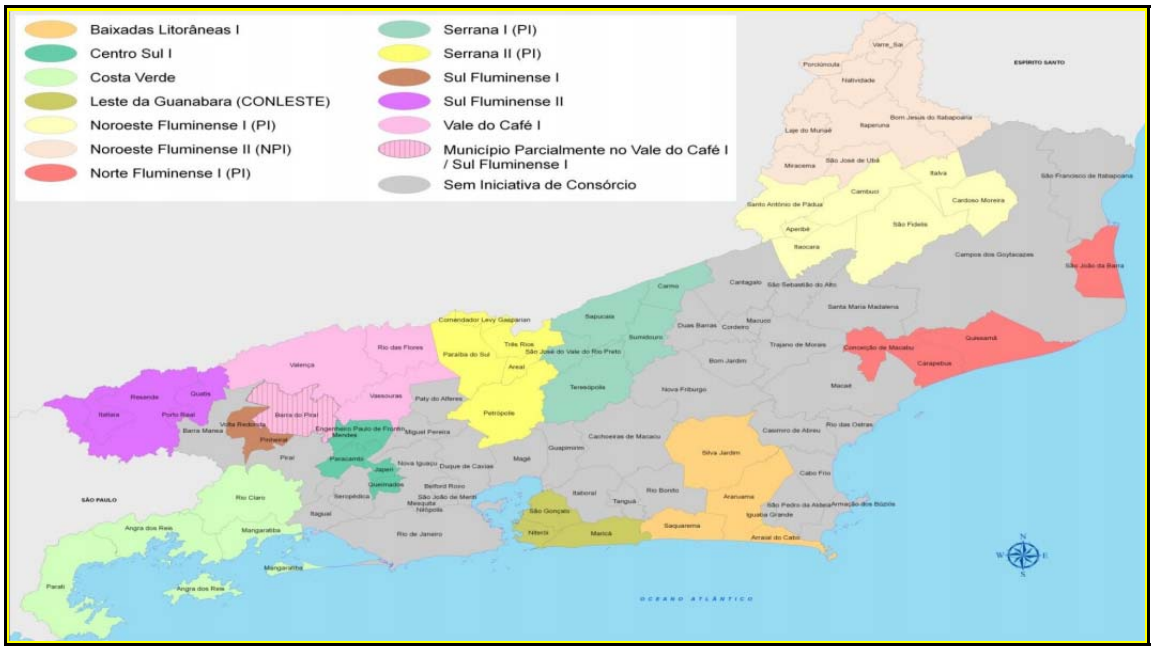

Figura 4.3.1. - Consórcios formado no estado do Rio de Janeiro através do Programa "Lixão Zero". **Fonte:** SEA RJ, 2009.

O programa "Recicla Rio" é um programa estadual para o adensamento e desenvolvimento sustentável da cadeia produtiva da reciclagem no estado. Segundo SEA RJ (2009), este programa propõe mudanças em 3 eixos:

- Eixo 1 (Setor produtivo): serão disponibilizadas áreas especificas no RJ para instalação de industrias beneficiadoras e recicladoras; Incentivos fiscais e tributários (isenção de ICMS e outros); Além de linhas especiais de financiamento com juros reduzidos - BNDES e Investe Rio (SEDEIS);

- Eixo 2 (Municípios): acontecerá a capacitação de gestores locais, para o apoio na implantação de programas de coleta seletiva, aquisição e distribuição aos municípios de equipamentos. Além da criação de um fundo para financiamento de projetos na área.

- Eixo 3 (Sociedade): Ampla campanha de educação ambiental voltada para coleta seletiva, Consumo consciente, 3Rs

O Estado do RJ tem um potencial de reciclagem (RSU) no de cerca de 40% das 15.000 toneladas de RSU geradas diariamente.

O PROVE, Programa de Recuperação de Óleo Vegetal, tem como objetivo coletar óleo de cozinha usado para reaproveitá-lo na produção de biodiesel e/ou de sabão pastoso. O eixo central deste projeto é engajamento das cooperativasde catadores de

material reciclável na coleta do óleo de cozinha residencial, além de rede de hotéis, restaurantes e supermercados. Em outubro de 2009, como resultado parcial do programa, ocorreu a coleta de 235.000 litros de óleo.

O Disque-Pneu é uma ferramenta criada pela SEA RJ para possibilitar a logística de recolhimento e a destinação final dos pneus inservíveis no estado do Rio de Janeiro, em atendimento à resolução CONAMA n º 416/09. De acordo com SEA RJ, 2009, no estado do Rio de Janeiro 17 municípios possuem posto de recolhimento de pneus.

Os programas propostos e iniciados pela SEA possuem um impacto positivo na gestão de resíduos sólidos no estado do Rio de Janeiro. Destaque para o programa das sacolas plásticas, que é um programa recente e que tem um grande potencial de impacto positivo na qualidade ambiental no estado. Além deste programa, deve-se destacar também a importância do programa *Lixão Zero*, um programa que já existe há algum tempo e continua com força na implantação de novos consórcios para a instalação de novos aterros, além de vislumbrar a remediação e recuperação das áreas dos antigos lixões.

O desenvolvimento de novas tecnologias no tratamento de resíduos sólidos permite atualmente vislumbrar futuros cenários. Estes cenários incluem:

- Crescente utilização dos resíduos para geração de energia, uma prática européia devido as dificuldades de autorização para construção de novos aterros sanitários (Diretiva 1999/31/EU – coloca que aterro sanitário para resíduos somente em último caso, todo o resíduo deve, primeiramente ser reciclado e na impossibilidade, transformado em energia);

- Utilização dos resíduos, após tratamento, como matéria-prima. Como é o caso da utilização das cinzas provenientes da incineração para a fabricação de tijolos e telhas;

- Implantação cada vez maior de Mecanismos de Desenvolvimento Limpo, visando certificação para participar do Mercado de Créditos de Carbono;

- Ampliar as soluções integradas e consorciadas, em regiões cada vez maiores, com custo mais baixo de implantação e maior poder de negociação junto aos empresários;

- Queda dos valores de custo dos sistemas de coleta seletiva;

- Fortalecimento das administrações municipais, com sua necessária adequação de corpo técnico e administrativo.

4.3.1. ALGUNS CASOS NA REGIÃO METROPOLITANA DO RIO DE JANEIRO

a) Central de Tratamento de Resíduos de Nova Iguaçu (CTR-NI)[13]

A central de tratamento de resíduos Nova Iguaçu, localizada na baixada fluminense, no município de Nova Iguaçu, foi inaugurada no ano de 2003 e trata-se de uma parceria público-privada (PPP). Nesta parceria, o município de Nova Iguaçu, que é o responsável pela coleta e a gestão dos seus resíduos sólidos urbanos, através de uma concessão deu o direito à empresa S.A. Paulista, na ocasião, de receber os RSU de todo o município, sendo esta empresa responsável pela construção e administração da central de tratamento de resíduos, além de ser responsável pelo tratamento e disposição de todo o resíduo produzido diariamente na cidade. Por outro lado, o município disponibilizou o terreno para o local de construção do empreendimento, e paga à empresa por cada tonelada disposta no aterro que compõe a CTR de Nova Iguaçu. Atualmente a concessão e a administração da CTR Nova Iguaçu esta nas mãos de outra empresa, a HAZTEC Tecnologia e Planejamento Ambiental S.A..

No ano de 2009, o aterro sanitário da CTR Nova Iguaçu recebeu, tratou e dispôs uma média de 1.180 toneladas de RSU por dia da sua população urbana de 865.089 habitantes. Logo, no ano de 2009 o aterro recebeu um total aproximado de 431.000 toneladas de RSU (ABRELPE, 2009). Iniciada em 2003, o contrato da concessão possui validade de 20 anos, sendo finalizado no ano de 2023.

Antes de iniciar a construção e as operações da CTR de Nova Iguaçu, como parte do contrato de concessão, a empresa responsável na ocasião, S.A. Paulista, realizou o encerramento e a recuperação do antigo lixão da Marambaia, local que recebeu por quase 20 anos todo o RSU de Nova Iguaçu sem nenhum controle ambiental (CTR, 2010). Na figura 4.3.1.1. podemos visualizar um dos principais danos causado por um lixão, a contaminação do solo e do lençol freático pelo percolado do RSU, o chorume. Além do problema causado do chorume, o lixão também apresenta outros problemas

[13] Este foi escrito utilizando basicamente através das seguintes fonte de dados: HAZTEC, 2010; NOVAGERAR, 2010. e CTR, 2010.

de mesma importância e magnitude como a liberação do gás oriundo da decomposição do resíduo em grandes volumes, o biogás, que possui em sua composição aproximadamente 50% de CO_2 e 50% do gás metano, um gás 21 vezes mais potente no seu potencial de aquecimento global, da sigla em inglês GWP (*Global Warming Potential*), do que o CO_2.

Figura 4.3.1.1. - Foto do antigo lixão da Marambaia, local para onde era enviado o RSU de Nova Iguaçu, com o percolado dos RSUs escoando sem controle pelo solo e mata. **Fonte:** NOVAGERAR, 2010.

Na CTR Nova Iguaçu existe o projeto NOVAGERAR, que foi o primeiro projeto do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) no mundo registrado em 18 de novembro de 2004 pela ONU em acordo com o Tratado de Kyoto, na sede do MDL em Bonn, na Alemanha. De acordo com o protocolo de Kyoto, os países do Anexo I, ou seja, os países desenvolvidos, devem reduzir as emissões dos gases que contribuem para efeito estufa em no mínimo 5 % em relação aos níveis de 1990, no período entre 2008 e 2012. As metas de redução não são homogêneas a todos os países, colocando níveis diferenciados para os 38 países que mais emitem esses gases. Países em pleno desenvolvimento (como Brasil, México, Argentina e Índia) não receberam metas de redução, pelo menos momentaneamente.

Neste contexto que surgiu o MDL, um dos mecanismos de flexibilização criados pelo Protocolo de Quioto para auxiliar o processo de redução de emissões de gases do efeito estufa (GEE) ou de captura de carbono (ou sequestro de carbono) por parte dos países do Anexo I. O MDL é a possibilidade dos países que não compõem o Anexo I, ou seja, que não possuem metas de redução determinadas, façam esta redução no

lançamento dos GEE, e que esta quantidade de GEE não enviadas pró-ativamente se transforme em créditos de carbono. Estes créditos de carbonos, produzidos nestes países em desenvolvimento, poderão ser negociados e vendidos aos países do Anexo I, para que eles possam assim atingir a meta de redução da emissão dos GEEs. Além disto, naturalmente ocorrerá nos países em desenvolvimento um desenvolvimento mais próximo do que denominamos como sustentável.

Com as suas licenças nas esferas municipal (Secretaria de Meio Ambiente de Nova Iguaçu), estadual (Feema) e federal (Ibama), sob supervisão direta do Ministério Público do Rio de Janeiro, o empreendimento está apto a realizar a recepção, tratamento e destinação final dos seguintes resíduos:

- Resíduos Sólidos Urbanos, provenientes da coleta nos logradouros;
- Resíduos Industriais Classe II, classificados de acordo com a NBR 1004;
- Resíduos provenientes de Serviços de Saúde;
- e Resíduos de Construção e Demolição.

A CTR é composta por um aterro sanitário e industrial; uma unidade de tratamento de resíduos de serviços de saúde, uma unidade de tratamento de chorume e aproveitamento energético do biogás, uma unidade de britagem dos resíduos provenientes da construção civil e uma unidade de gerenciamento de resíduos industriais que inclui um laboratório; além de centro de educação ambiental e viveiro de mudas de Mata Atlântica.

O Aterro Sanitário da CTR Nova Iguaçu possui uma capacidade de cerca de 1.588.600m^3, conforme a concepção dada nos Desenhos de Projeto, que, ao final de sua implantação representará mais de 1.845.000 t de resíduos domiciliares dispostos na primeira etapa (Sub-Aterro Vale I). O Aterro Sanitário foi dimensionado para uma demanda operacional máxima de 1.500 t/dia, e uma média de 1.000 t/dia, o que através de cálculos representa uma vida útil de 5,1 anos para o primeiro Sub-Aterro Licenciado (Vale I). Após o licenciamento de mais dois Sub-Aterros (para Resíduos Sólidos Urbanos e Resíduos Industriais Classe II) a vida útil global dos aterros se estendeu para aproximadamente 15 anos, dependendo principalmente das variações demográficas locais.

Levando em consideração que o foco deste trabalho é o tratamento e disposição dos RSU, os dados técnicos apresentados a partir deste ponto serão referentes apenas ao

Aterro Sanitário que compõe a CTR Nova Iguaçu, ou seja, informações de apenas uma parte da infra-estrutura e dos serviços prestados pela CTR.

Utilizando-se do exemplo do Aterro Sanitário da CTR Nova Iguaçu, e também de outros exemplos de aterros nos EUA, podemos afirmar que, quando projetados valendo de padrões tecnológicos elevados, são dispositivos que ainda apresentam os menores custos de implantação, operação e manutenção dentro do sistema, e quando bem operados apresentam um risco reduzido para o meio ambiente.

Dentro das principais características básicas no qual foi projetado o aterro da CTR, devem ser destacadas as seguintes:

- ✓ Sistema de drenagem e canalização nascentes de águas naturais existentes na sua área de implantação;
- ✓ Sistema de impermeabilização de fundação;
- ✓ Sistema de lançamento, espalhamento e compactação, para assegurar a maximização de disposição por metro quadrado da área do aterro;
- ✓ Sistema de recobrimento diário dos resíduos recebidos, a fim de se evitar a proliferação de vetores de doenças (insetos, aves, roedores etc.), e também para minimizar a geração do percolado (chorume);
- ✓ Sistema para drenagem e coleta do percolado e dos gases produzidos durante a decomposição dos resíduos;
- ✓ Recobrimento e impermeabilização final, para minimizar impactos ambientais negativos após o seu encerramento;
- ✓ Sistema de tratamento de percolados;
- ✓ Sistema informatizado de controle de resíduos recebidos, com pesagem eletrônica, cadastramento de coletores e amostragem de carregamentos recebidos para confirmação de procedência e o tipo resíduo;
- ✓ Auditório para a divulgação dos trabalhos de implantação e operação do empreendimento, trabalhos de educação ambiental às escolas públicas e privadas, comunidades locais e regionais; e
- ✓ Plano de monitoramento geológico-geotécnico e ambiental, tanto durante a operação, como após seu encerramento final.

A seguir, algumas etapas da construção do aterro que compõe a CTR Nova Iguaçu serão explanadas.

I - Canalização das Nascentes d'Água

O projeto foi desenvolvido de forma que as duas nascentes existentes na área de implantação do aterro sanitário fossem canalizadas previamente à implantação da camada de impermeabilização dessa estrutura.

Houve a implantação de um eixo principal de drenagem para captar a água das nascentes e conduzi-la até a drenagem natural existente na borda da rodovia de acesso ao aterro. Essa tubulação foi projetada para apresentar ramificações de modo a captar as águas de nascentes distintas e que viessem a convergir para o talvegue existente na região.

Quanto ao eixo principal do sistema, este será constituído por tubos de concreto e parede perfurada e envoltos por rachão e brita. Finalmente, capeando toda a rede de drenagem, foi feito o lançamento e compactação de uma camada de areia lavada grossa, previamente à execução da camada de impermeabilização da fundação do aterro.

Apesar dos estudos prévios revelarem que as nascentes apresentem um aporte de cerca de 10 l/s, o sistema é capaz de escoar até cerca de 250 l/s, a fim de poder compensar possíveis alterações na declividade dos tubos por eventuais deformações indesejáveis.

Para evitar que os taludes expostos das escavações dos anfiteatros venham a ser erodidos por precipitações pluviométricas, os taludes foram protegidos com gramíneas, aplicadas através de semeadura e/ou hidrossemeadura. Associado a isso, junto às bermas, foram implantadas canaletas de drenagem provisórias escavadas no local, as quais caso necessário, poderão ser revestidas com brita e/ou pedrisco. Essas canaletas conduzirão às águas até escadas provisórias de drenagem, implantadas fora da praça de disposição de resíduos. Em pontos específicos, essas canaletas são interligadas ao sistema de drenagem superficial definitivo, implantado no entorno do aterro sanitário.

II - Tratamento e Impermeabilização da Fundação

Conforme já descrito anteriormente, em toda a fundação do aterro manteve-se uma camada de solo natural e/ou compactada com permeabilidade inferior a 10^{-7}cm/s e espessura mínima de 1,0m, em relação ao nível do lençol freático, localizado sob o aterro sanitário.

Após a realização deste trabalho de preparação na fundação, em toda esta área de fundação e nos taludes de escavação foi implantada uma geomembrana de polietileno de alta densidade - PEAD, de 1,5mm de espessura, texturizada em ambas as faces, no aterro sanitário. As texturizações das faces possuem a função de garantir uma melhor aderência entre a geomembrana e as camadas de fundação e o próprio aterro.

As imagens 4.3.1.2. e 4.3.1.3.. mostram essa geomembrana sendo aplicada sobre aterro sanitário da CTR Nova Iguaçu e o detalhe da realização da emenda feita manualmente com maquina de soldagem que utiliza o calor para selar as junções.

Figura 4.3.1.2. - Lançamento das membranas de PEAD recobrindo toda fundação e taludes do Aterro em Nova Iguaçu. **Fonte:** HAZTEC, 2010.

Figura 4.3.1.3. - Detalhe da emenda realizada na Geomembrana de PEAD. **Fonte:** HAZTEC, 2010.

Nos locais de implantação de redes de drenagem de percolados (chorume), a instalação da geomembrana aconteceu antes das demais áreas de aplicação da mesma. Assim, foram feitas escavações das valetas de drenagem, aplicadas as geomembranas, executados os berços de material previstos e colocados os materiais de drenos propriamente ditos (tubos, coletores, rachão, brita etc.). Uma vez implantados estes dispositivos, na seqüência foram lançadas as geomembranas em outros locais de disposição de resíduos no aterro.

As imagens 4.3.1.4. e 4.3.1.5. são de dispositivos de drenagem de percolado sendo instalados em um aterro de grande porte.

Figura 4.3.1.4. - A instalação de um sistema de drenagem de fundação em um aterro de grande porte. **Fonte:** HAZTEC, 2010.

Figura 4.3.1.5. - Detalhe da implantação de Tubos de Drenagem de Percolados na Fundação. **Fonte:** HAZTEC, 2010.

As geomembranas de PEAD dos aterros foram ancoradas nos taludes através dos próprios dispositivos de drenagem de percolados (drenos de anéis), ou mediante

trincheiras escavadas e reaterradas, como solo compactado. Previamente ao lançamento de resíduos, as geomembranas são protegidas por uma camada mínima de 0,30m de solo. Essas camadas visam evitar o puncionamento das geomembranas por elementos pontiagudos e perfurantes, que possa ocorrer na massa de resíduos disposto no aterro.

O sistema de drenagem principal da fundação foi projetado, e é constituído por tubulações de drenagem que convergem para o pé do aterro, e daí são conduzidas até o tanque de armazenamento de percolados. Cada linha de drenagem apresenta lateralmente drenos de rachão, formando uma espinha de peixe, espaçados a uma distância máxima de 50m entre si.

As linhas principais de drenagem convergem para um poço de inspeção posicionado no pé do aterro, no qual é feita a mediação periódica de vazão e coleta de amostras do percolado para avaliação de suas propriedades físicas e químicas ao longo do tempo.

O tanque de armazenamento de percolados é semi-enterrado e é totalmente fechado para evitar qualquer acidente e a proliferação de odores indesejáveis. Este tanque é subdivididos em três células, juntos este reservatório tem capacidade de armazenar 633m^3 de percolado.

III - <u>Disposição dos Resíduos</u>

Os resíduos recebidos no aterro são lançados em células com até 5,0m de altura, sendo espalhados em camadas inclinadas de espessura máxima de 0,30m, com talude máximo de 1V:2H, e compactadas. Após cada ciclo de 24 horas, os resíduos são recobertos com uma camada de solo, evitando desta forma a penetração de águas de precipitações pluviométricas, reduzindo de forma significativa a formação de percolados, e principalmente evitar a proliferação de insetos, aves e roedores no local.

Para a execução das células superiores são implantados acessos mediante o emprego de materiais granulares, eventualmente por entulhos processados, de material de construção que sejam porventura recebidos pelo aterro. Este procedimento é particularmente importante em períodos chuvosos.

A inclinação do aterro é de 2% no sentido montante/jusante, a fim de assegurar o escoamento dos percolados para fora da área de implantação do aterro. Após a finalização de cada camada de resíduos é implantado o revestimento final dos taludes

externos do aterro, bem como a conclusão do sistema de drenagem superficial definitivo, melhores descritos nos itens a seguir.

IV - Sistemas de Drenagem de Percolados e Gases do Aterro

O Sistema de Drenagem de Percolados e Gases do maciço do Aterro Sanitário de Nova Iguaçu foi concebido com três dispositivos básicos:

- ✓ Poços Verticais;
- ✓ Drenos Horizontais;
- ✓ e Drenos de Taludes.

Poços Verticais: os poços verticais foram projetados de foram a permitir o escoamento dos gases para a atmosfera, bem como conduzir o percolado (chorume) gerado durante a operação e após o encerramento do aterro, ao sistema de drenagem de percolados da fundação.

Esses poços verticais constituem-se por tubos perfurados de concreto, com diâmetro de aproximadamente 0,40m, envoltos por um anel de rachão com espessura de 0,50m, o qual é contido por uma tela metálica.

A função do rachão é coletar os percolados (chorume) das camadas de resíduos e conduzi-los aos drenos principais de fundação, enquanto que o tubo de concreto visa assegurar uma superfície livre, para escoamento dos gases para a atmosfera. Vide figura 4.3.1.6.

Figura 4.3.1.6. - Poço vertical instalado no aterro de Nova Iguaçu, detalhe para a tubulação de concreto no centro perfurada e o anel de rachão ao redor. **Fonte:** HAZTEC, 2010.

No projeto desenvolvido optou-se por empregar os tubos de 0,40m e envoltos em anéis rachão de 0,50m, espaçando os poços com raio de influência inferior a 50m.

Drenos Horizontais: Esses drenos foram projetados para captar o chorume e os gases gerados nas células e conduzi-los aos poços verticais. Eles foram previstos para serem implantados em todas as camadas de resíduos, seguindo os mesmos alinhamentos dos drenos de brita da fundação.

Previu-se que a implantação destes drenos fosse realizada no topo da camada de cobertura das células de resíduos da camada inferior, como mostra a figura 4.3.1.7..

Figura 4.3.1.7. - Detalhe de interligação do Poço Vertical com os drenos horizontais. **Fonte:** HAZTEC, 2010.

Drenos de Taludes: independente da eficiência do sistema de drenagem de percolados foi considerado que eventuais bolsões de chorume localizados principalmente junto às faces externas do aterro possam aflorar nos taludes externos, se valendo de caminhos preferenciais de percolação, constituídos geralmente por resíduos mais permeáveis. Para evitar que isso possa vir a acontecer foram instaladas linhas de drenos de talude, executados com rachão, sob a camada de revestimento final.

V - Revestimento Final do Aterro

Todas as superfícies dos taludes, bermas e patamares receberam uma camada de solo argiloso de espessura mínima de 0,60m e permeabilidade inferior a 10^{-7}cm/s. Essa camada é independente da camada de cobertura, e foi espalhada e compactada pelo trânsito de equipamentos em sub camadas de 0,30m.

Após a aplicação desta camada de solo, foi disposta uma camada de solo vegetal de espessura mínima de 0,40m e foi realizado o plantio de gramíneas, contendo espécies aclimatadas à região e que não sofram muita influência de eventuais gases que possam vir a emanar do maciço do aterro sanitário.

Nos poços verticais, nas extremidades dos tubos de concreto, próximo aos taludes e bermas em que eles estão expostos, forma implantados queimadores de gases, constituídos por um tubo de ferro provido de uma campânula queimadora na sua extremidade, com uma altura mínima de 1,80m.

Próximo a extremidade superior destes tubos é implantada uma bifurcação lateral que permite que periodicamente sejam coletadas amostras dos gases, sem a necessidade de interromper o fluxo nos queimadores. Os queimadores por sua vez foram projetados para serem mantidos permanentemente acesos, no intuito de evitar possíveis acidentes, uma vez que o metano é um gás altamente explosivo quando misturado em proporções iguais ou superiores a 15% de CH_4 / 85% de O_2.

VI - Sistemas de Drenagem de Águas Pluviais

No aterro sanitário de Nova Iguaçu**,** o sistema de drenagem de águas pluviais foi projetado para coletar e afastar as águas oriundas de precipitações pluviométricas da área de disposição de resíduos, garantindo a integridade das superfícies expostas e, conseqüentemente, do corpo do aterro, evitando assim a ocorrência de erosões e ravinamentos indesejáveis nos seus maciços. Adicionalmente, este sistema permite o afastamento das águas pluviais das superfícies dos aterros, minimizando conseqüentemente a quantidade do líquido percolado produzido.

Em todas as bermas foram previstas canaletas escavadas no solo de cobertura, revestidas com material granular, e com declividade longitudinal para conduzir as águas captadas para os pontos baixos das bermas.

No centro do aterro, onde deverão ocorrer os maiores recalques, foram previstas descidas de água, associadas a canaletas de bermas para a coleta e direcionamento das águas da chuva. Todas as descidas de água nos taludes dos aterros foram concebidas com mantas gabião do tipo colchão reno, para possibilitar a sua acomodação, quando da ocorrência do adensamento das células de resíduos (figuras 4.3.1.8. e 4.3.1.9.).

As figuras abaixo apresentam detalhes desses dispositivos, que foram implantados em aterros de porte similar e que foram implantados no aterro em Nova Iguaçu.

Figura 4.3.1.8. -Descida d'água em colchão reno. **Fonte:** NOVAGERAR, 2010.

Figura 4.3.1.9.. - Caixa de dissipação em Gabião. **Fonte:** NOVAGERAR, 2010.

VII - <u>Unidade de Tratamento de Percolados</u>

De acordo com os cálculos de vazão de percolados do aterro, calculados com base principalmente no balanço hídrico local e na proporção de matéria orgânica do resíduo depositado, a quantidade média anual estimada de produção de chorume do Aterro Sanitário de Nova Iguaçu, quando totalmente concluído, será de 2,2 l/s, e de 4,4 l/s no mês mais desfavorável.

Estes valores de vazão foram utilizados para definir o modelo do equipamento a ser instalado na unidade de tratamento de percolados, bem como para definir as dimensões do tanque de acumulação de percolados, que permite o armazenamento emergencial de chorume, caso o sistema de alimentação da unidade de tratamento

sofra interrupção forçada, devido à deficiência de suprimento energético, ou devido a paradas necessárias a manutenção preventiva do sistema.

Tendo em vista que nas fases iniciais de operação do aterro é gerada uma quantidade reduzida de percolados, devido ao fato da vazão de chorume ser proporcional a área de aterro em operação, o projeto desenvolvido considerou que no inicio de operação do aterro fosse promovida a recirculação das vazões captadas pelo sistema de drenagem de chorume. A partir do momento que as vazões atingiram valores que tornou a operação do sistema de tratamento viável economicamente, ou ainda que as condições de recirculação se mostraram pouco eficientes, foi implantado o sistema de evaporação de percolados.

O tanque de armazenamento foi dimensionado para apresentar dimensões que assegurem o estoque de um volume equivalente a 3 dias de geração de chorume no seu fluxo máximo estimado de 2,2 l/s.

Atualmente, em consonância com as concentrações da DBO e da DQO do chorume produzido no aterro, e também com o volume produzido do mesmo, é realizado o tratamento *In Situ* deste percolado. Nestes processos o chorume é tratado junto as instalações do aterro sanitário, sendo os efluentes tratados e lançados nos corpos hídricos receptores existentes em sua proximidade. O principal processo utilizado é a osmose reversa, podendo esta ser combinada com outros processo, como Anaeróbio, Aeróbio e Físico-Químico.

A configuração da estação de tratamento de efluentes desenvolvida pela Haztec-Aquamec para o aterro de Nova Iguaçu, que tem capacidade instalada de processar 600 m3/dia de chorume, envolve o tratamento inicial em um reator anóxico para desnitrificação, seguindo por tanques aeróbios para remoção de carga orgânica e nitrificação. O sistema de MBR, formado por oito módulos de membranas de ultrafiltração (70 $L/m^2.h$), responde pela remoção do lodo biológico. Logo após, o efluente segue para os módulos em série (2 + 2 unidades) de membranas de osmose reversa, que fazem a remoção da DQO não biodegradável (taxa de filtração = 14 $L/m^2.h$). São gerados diariamente cerca de 600 m^3/d de permeado. Parte desse volume alimenta os sistemas de irrigação do aterro e parte é utilizada no abatimento de particulados.

b) Usina Verde[14]

A USINAVERDE é uma empresa brasileira criada em 2001, pioneira no Brasil no desenvolvimento de tecnologia e processos para a implantação de usinas de reciclagem energética, sendo detentora de 2 patentes de tecnologias utilizadas em seu processo.

Em 2004, a USINAVERDE implantou no campus da UFRJ, na Ilha do Fundão, um centro tecnológico dotado de uma usina protótipo com capacidade para tratar 30 toneladas por dia de lixo urbano, equivalente à produção de uma população de 50 mil pessoas, gerando 440 kW de eletricidade para consumo próprio. O maior diferencial deste projeto foi de ter sido concebido integralmente com equipamentos desenvolvidos e fabricados no Brasil, reduzindo de forma drástica o custo de utilização deste tipo de tecnologia, já que normalmente é feita a importação desses equipamentos de outros países.

Em 2004 a usina operou exclusivamente com o tratamento de resíduos urbanos, sem geração de energia, amparada pela licença de instalação (LI) que permitia a operação provisória para fins de testes e ajustes técnicos até que fossem realizado o "Teste de Queima" obrigatório pela resolução CONAMA nº 316 de 2002. Após concluir com excelentes resultados os testes obrigatórios, a usina obteve da FEEMA, a licença de operação (LO) em 2005.

A usina é modular e se apresenta com capacidade para tratar 150 ou 300 toneladas de lixo urbano por dia, com geração efetiva, respectivamente de 3,3 MW e 6,6 MW de energia elétrica. A geração de energia elétrica líquida produzida que é destinadas a comercialização é de 2,8 MW nos módulos de 150 ton/dia, e 5,6 MW nos módulos de 300 ton/dia. Considerando a média nacional de geração de resíduos urbanos apurada pela Abrelpe (ABRELPE, 2009), cada módulo de 150 ton/dia é capaz de atender uma população de aproximadamente 130 mil pessoas. A energia elétrica exportável por módulos de 150 ton/dia pode atender o consumo de aproximadamente 14 mil residências, de acordo com o consumo médio residencial de 140 kW/mês, divulgado pela Empresa de Planejamento Energético (EPE – MME).

A usina possui em seu processo uma etapa que visa o aumento da reciclagem, ou seja, há uma etapa de pré-tratamento dos resíduos, onde a maior parte do material reciclado (plásticos recicláveis, garrafas PET, alumínio, aço, vidros, papelão, etc) é

[14] Este item foi escrito com base no documento USINAVERDE, 2010.

retirado e revendido para fins de reaproveitamento da matéria prima no processo de reciclagem.

A tecnologia utilizada por eles está de acordo com as recomendações para a destinação final dos resíduos sólidos urbanos, contidas na Convenção de Estolcomo sobre poluentes orgânicos persistentes (POPs), de 2001, da qual o Brasil é signatário:

- No processo utilizado a oxidação térmica dos gases é completa, ocorrendo à uma temperatura de cerca de 950º C e com excesso de ar na queima de 110%, o que se reflete na eliminação total do monóxido de carbono. Os resultados dos teste indicam um máximo de 2 ppm de CO nos gases emitidos na chaminé.

- O processo utiliza sistemas fechados de gases (pressão negativa) e de lavagem com água alcalinizada em circuito fechado.

- No processo os resíduos são tratados à uma temperatura mínima de 850º C, e os gases, na câmara de pós combustão, são submetidos a uma temperatura de 1000ºC, com tempo de residência acima de 2 segundos. As temperaturas são controladas automaticamente.

Na usina, cada módulo para tratamento de 150 toneladas/dia de resíduos é constituído pelas unidades e sistemas de processamento descritos a seguir:

1 - Unidade de Pré-Processamento dos Resíduos

A Unidade de Pré-Processamento de Resíduos é responsável pelo preparo do Combustível Derivado de Resíduo (CDR), que é utilizado para alimentar o forno em plantas como esta, partindo o RSU que é recebido na Usina. Com base na jornada de trabalho cada módulo de 150 ton/dia terá a capacidade de projeto para processar cerca de 14.500kg/h de lixo bruto como coletado.

No caso de o município já realizar o serviço de coleta seletiva, ou já possuir centrais de triagem, o dimensionamento desta unidade deverá ser revisto. Todo o pré-processamento de resíduos, desde o recebimento até a estocagem do CDR, ocorre em um prédio totalmente fechado, dotado de um sistema de aspiração de odores, através de coifas estrategicamente localizadas em diversas partes do processo. Este ar aspirado é direcionado para ser utilizado no forno. Além disto, o portão de acesso dos caminhões ao prédio é hermético, de maneira a evitar que odores sejam exalados

para o exterior do prédio. Este processo de preparação do CDR ocorre em 4 etapas distintas:

1.1. - Pesagem, Controle e Descarregamento

Nesta etapa ocorre a pesagem do lixo domiciliar transportado pelos caminhões em balanças rodoviárias, para seu descarregamento em um fosso. Este fosso é construído em concreto armado e no seu fundo possui uma canaleta para o recolhimento do chorume, o qual será encaminhado para tratamento.

1.2. - Alimentação da Linha de Pré-Processamento

O resíduo é retirado do fosso por meio de uma ponte rolante dotada de garra hidráulica e introduzindo na moega de alimentação da linha de pré-processamento. Também com o auxílio da ponte rolante, são retirados objetos volumosos que podem atrapalhar a alimentação da linha, como colchões, sofás, móveis em geral, etc.

1.3. - Segregação dos Materiais Recicláveis

O resíduo é retirado da moega de alimentação utilizando-se uma esteira mecânica, que irá por sua vez alimentar uma esteira transportadora de correia. Nesta esteira, equipe de catadores retirarão materiais, tais como garrafas, papelões, peças metálicas de porte maior, sendo o restante conduzido ao triturador.

O triturador tem a função de rasgar sacolas plásticas e fragmentar os resíduos, homogeneizando-os para a alimentação da segunda esteira de catação. Neste transportador horizontal de correia os resíduos são submetidos a uma triagem manual aonde são retirados materiais passíveis de serem reciclados, tais como metais, papelões, papel, garrafas, PETs e plásticos limpos.

1.4. - Preparação do CDR - Combustível Derivado de resíduos

A esteira de catação é dotada de um eletro-imã que retira as peças metálicas ferrosas que porventura não foram capturadas pela equipe de catadores. Os resíduos fragmentados são encaminhados através de transportadores de correia ao fosso de CDR. Além disto, a unidade contará com um picador de madeira, que por sua vez também alimentará os transportadores de CDR.

A figura 4.3.1.10. resume todas as partes que compõem a etapa de Pré-Processamento dos resíduos em uma planta de reciclagem energética.

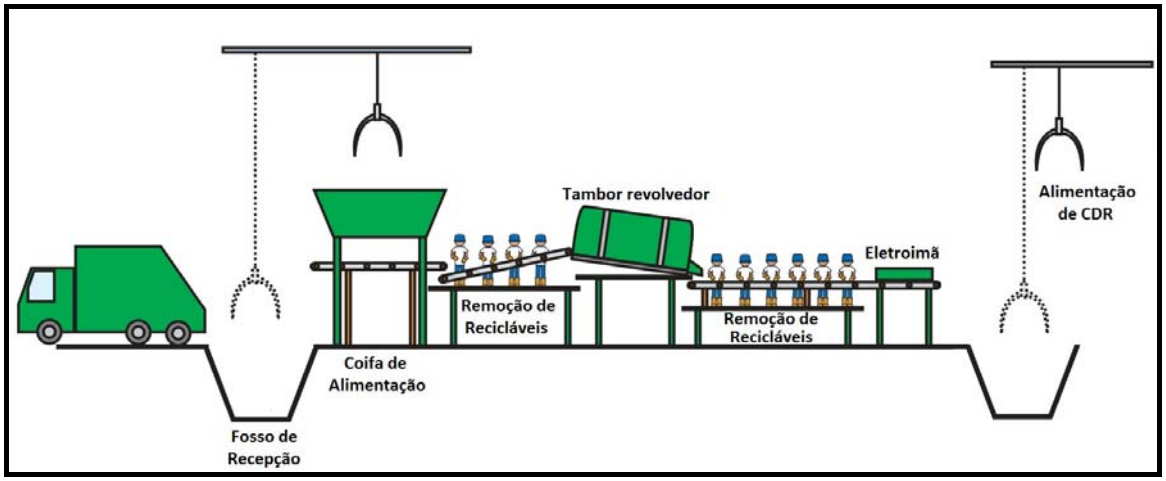

Figura 4.3.1.10. – Diagrama representando a etapa de Pré-processamento dos Resíduos na USINA VERDE e suas sub-etapas. **Fonte**: USINAVERDE, 2010.

2 - Unidade de Tratamento Térmico e Geração de Energia

A unidade de tratamento térmico e geração de energia foi projetada para trabalhar em regime contínuo, ou seja, 24 horas, 7 dias por semana. A unidade de tratamento térmico, com a geração de energia é subdividida nas seguintes subetapas:

2.1. - Unidade de recebimento do CDR e de carregamento do forno

Os resíduos recebidos da unidade de pré-tratamento de resíduos, aqui denominados CDR, são descarregados em um fosso de recepção com capacidade para 650 toneladas de CDR. Considerando que a operação desta unidade é contínua (24 horas x 7 dias), a capacidade do silo de CDR tem que prever fins de semana e feriados. Através de uma garra hidráulica, manobrada por um operador na cabine da ponte rolante, os resíduos são transferidos para os silos de alimentação de cada módulo de tratamento e ao sistema de alimentação dos fornos

2.1.1. - Silo de Alimentação e Alimentador do Forno

O CDR é descarregado diretamente nos silos com saída inferior interligada ao sistema de alimentação do forno de incineração, que consiste em um alimentador de acionamento hidráulico, que admite o resíduo a ser incinerado na região de secagem do material no interior da câmara de combustão.

2.1.2. - Sistema de Controle e Comando

O funcionamento do sistema é controlado automaticamente por meio eletrônico podendo ser acionado diretamente pelo operador chefe na sala de controle. Um sistema de intertravamento impede a alimentação do CDR pela temperatura do forno

de incineração por intermédio de sinais enviados pelos sensores nele instalados em diversos pontos.

2.2. - Unidade de Incineração

O material combustível é introduzido no forno para ser queimado em 2 estágios:

- 1° Estágio: incineração dos materiais à temperatura superior a 900°C
- 2° Estágio: pós-queima (conversão total dos gases), a temperatura de até 1200°C.

O forno possui um sistema de alimentação a gás natural ou GLP utilizado para a partida inicial e para a correção da temperatura de incineração, garantindo que o nível de temperatura dos gases se mantenha estável e no nível necessário para a geração de energia.

2.2.1. - Forno de incineração e Câmara de Pós-Queima

O forno de um módulo de 150 ton/dia tem capacidade nominal de projeto de 14.000.000 kcal/hora e pode atingir a temperatura de 1200°C. O forno é composto por duas câmaras em série, uma de incineração propriamente dita, e a seguinte de pós-queima, ambas revestidas com material refratário.

O fundo da câmara de combustão, como em todos os fornos de grelha móvel, é equipado com grelhas móveis em liga de aço fundido em configuração de escada, de forma a induzir o CDR a atravessar toda a grelha até a sua combustão completa. O tempo de residência do CDR no interior do forno é de cerca de 90 minutos, e dos gases, na pós-queima, de 2 segundos. O CDR é introduzido no forno continuamente por um alimentador e as cinzas são descartadas pelo fundo do forno, em uma corrente de água.

O ar primário de combustão é alimentado por baixo das grelhas móveis, contribuindo também para sua refrigeração. Os gases provenientes da combustão do CDR na câmara de incineração são alimentados na câmara de pós-queima onde, pela introdução de ar pré-aquecido, o CO é convertido a CO_2. A temperatura dos gases é elevada a 1000°C e a pressão do forno é mantida em, no máximo, (-) 10 mmCA., impedindo a saída de gases para o ambiente. Os gases provenientes da câmara de pós-queima são aspirados através da caldeira de recuperação por exaustor acoplado

ao forno de incineração. Tanto a câmara de incineração quanto a de pós-queima possuem queimadores para gás natural e GLP.

2.2.2. - Soprador de Ar

O ar da combustão é fornecido por ventiladores centrífugo com rotor fechado e pás radiais acoplado ao motor de acionamento. O ar aspirado pelo ventilador é pré-aquecido no radiador em contra corrente com o vapor produzido na caldeira de recuperação, antes de ser injetado na câmara de incineração e na câmara de pós-queima.

2.2.3. - Sistema de retirada de cinzas

As cinzas caem por gravidade na parte inferior do forno, sendo retiradas por meio de um arrastador de cinzas, trabalhando em canaleta onde flui uma corrente de água. As cinzas não solúveis, constituídas de sílica, pedriscos, cerâmicas, são conduzidas pelo arrastador para fora do sistema para terem o destino adequado (fabricação de tijolos, pisos, pavimentação, etc). As cinzas solúveis, constituídas basicamente de óxidos alcalinos são descarregadas sob forma de solução alcalina no decantador

2.2.4. - Painel de Comando

Para o comando e controle dos sistemas da unidade de incineração, existe um Painel de Comando CLP - “Comando Lógico Programável”, (figura 4.3.1.11.) com as funções principais de comando nos seguintes equipamentos:

- Ventiladores dos queimadores;
- Queimadores;
- Exaustores e seus variadores de velocidade;
- Alarmes (sonoros e visuais de todas as seguranças);
- Grelhas do forno (controle de freqüência)

Figura 4.3.1.11.- O Painel de Controle da unidade USINAVERDE sendo operada por um técnico. **Fonte**: USINAVERDE, 2010.

2.3. - Unidade de Geração de Energia

A unidade de geração de energia recebe diretamente os gases quentes do forno que, ao passarem por uma caldeira de recuperação de calor, irão produzir vapor, que por sua vez é usado para a movimentação dos conjuntos turbina/gerador, com capacidade para produzir 3300 kW de energia elétrica por módulo de 150 ton/dia.

2.3.1. - Caldeira de Recuperação

Os gases são aspirados para a caldeira de recuperação a uma temperatura de 1000°C e deixam a mesma na temperatura de 180°C. O aproveitamento da energia térmica contida nos gases da combustão produz em cada caldeira integrante de um módulo de 150 ton/dia cerca de 20.000 kg/h de vapor superaquecido (400ºC e 45 bar) destinado a geração de energia elétrica através do conjunto turbo-gerador.

Os gases já resfriados na caldeira de recuperação são aspirados para um recuperador de calor que reduz a temperatura dos gases abaixo dos 100ºC, aquecendo a água de alimentação da caldeira.

A unidade de geração de vapor possui os seguintes equipamentos:

- Recuperador tipo caldeira “aquo-tubular”, de aço carbono, troca calor entre os gases quentes e a água tratada, produzindo vapor de 400ºC a 45 bar de pressão.

- Tratamento de água (água desmineralizada);

- Dasaerador;

- Recuperador de calor;

- Bombas de água de alimentação da caldeira.

2.3.2. - Conjunto Turbina-Gerador

Todo o vapor produzido nas caldeiras de recuperação é conduzido à turbina a vapor. O conjunto turbina-gerador recebe os 20.000 kg por hora de vapor, que foi produzido na caldeira. As turbinas são do tipo condensação total acionando um gerador de energia elétrica de 4 MW de potência, nos módulos de 150 ton/dia.

A unidade de geração de energia elétrica possui os seguintes equipamentos:

- Turbina a vapor;

- Gerador;

- Condensador;

- Bombas de condensado;

- Torre de refrigeração;

- Subestação.

Além dos equipamentos citados, o sistema também possui um gerador a óleo diesel para a partida dos módulos de tratamento e eventuais falhas do sistema, sendo este acionado automaticamente. Na figura 4.3.1.12. pode-se observar o conjunto turbina gerador da usina.

Figura 4.3.1.12. - Foto do conjunto turbina-gerador na USINA VERDE. Foto retirada durante visitação à planta.

2.4. - Sistema de Aspiração e descarga de Gases

Os gases são aspirados através de todo o sistema de combustão/geração de vapor por exaustor posicionado entre a caldeira de recuperação de calor e o trocador de recuperação de calor, garantindo que toda esta etapa do processo opere em pressão negativa, evitando-se possíveis vazamentos dos gases para a atmosfera.

2.5. - Unidade de tratamento dos gases da Incineração

Cada módulo de 150 ton/dia de tratamento de CDR possui seu próprio sistema de tratamento dos cerca de 50.000 kg/h de gases da combustão. Esse sistema de tratamento esta esquematizado na figura 4.3.1.13., mostrando o fluxo dos gases da combustão, passando por cada dispositivo de controle de poluição.

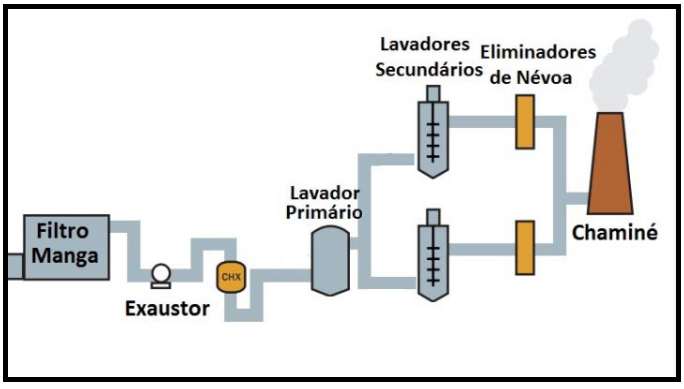

Figura 4.3.1.13 - Diagrama com os componentes da Unidade de tratamento de gases da Incineração da USINA VERDE. **Fonte**: USINAVERDE, 2010.

Conforme o diagrama da figura 4.3.1.13., os gases, provenientes do trocador de recuperação de calor, com temperatura de cerca de 100ºC, passam pelo lavador primário que efetua o seu resfriamento, além de solubilizar a maior parte dos poluentes provenientes da queima do material orgânico através da água injetada por bicos de pulverização.

Em seguida, com os gases a uma temperatura inferior a 60ºC, ocorrerá o tratamento desses gases em dois lavadores em paralelo (lavadores secundários). Estes lavadores utilizam a micro pulverização mecânica da solução de lavagem para promover seu íntimo contato com as moléculas dos gases. Os lavadores secundários possuem 4 turbinas horizontais que a 800 rotações por minuto conseguem produzir , injetando água alcalinizada no centro de cada turbina, uma névoa com gotas submicronicas. As águas de lavagem após serem resfriadas em torre de refrigeração são estocadas em um tanque para retornarem ao processo, configurando-se assim um sistema em circuito fechado.

Os gases uma vez já limpos passam pelo removedor de névoas, cuja finalidade é diminuir o arraste de gotículas de água antes de serem descarregados na atmosfera pela chaminé.

3 - Sistemas de Controle

3.1. - Alimentação do forno

O controle do fluxo de CDR é por meio da variação na freqüência de movimento do embolo acionador do alimentador do forno de incineração. A freqüência é ajustada pelo operador na casa de controle conforme as condições de queima do forno assinaladas, não só pelos instrumentos indicadores de temperatura e pressão, como também pela observação visual da situação interna da queima através de monitores de TV instalados.

3.2. - Incineração

O funcionamento do forno em operação normal é essencialmente automático com todos os sistemas comandados pelo CLP - Controlador Lógico Programável, que indica, controla e supervisiona as variáveis envolvidas na operação. A verificação de todas as variáveis é feita pelo supervisor de turno no CLP, no interior da sala de controle, local onde soam todos os alarmes do sistema. A verificação das temperaturas do forno pode ser feita no CLP através de indicadores de temperatura,

com valores enviados do forno por transmissores de temperatura e, também, no local, através dos respectivos técnicos. Os controladores de temperatura controlam o funcionamento dos dois queimadores, que em operação normal, somente serão ligados automaticamente em caso de baixa temperatura.

O sistema de alimentação também conta com um sistema de inter-travamento em caso de queda de temperatura no forno, desligando na mesma hora o alimentador do forno, evitando-se com isto a contínua alimentação do forno e a conseqüente incineração incompleta dos resíduos. Estas temperaturas poderão ser ajustadas manualmente no painel de controle.

Em relação à pressão no forno, os indicadores de pressão acionam o variador de velocidade do exaustor para o controle da pressão negativa do forno. A velocidade do soprador de ar de combustão pode ser alterada através de seu inversor de freqüência, que atua com o sinal do controlador de pressão, permitindo a modificação do volume de ar injetada no forno.

3.3. - Sistema de Lavagem

A regulagem da vazão para camada de jatos no lavador primário, controlada pela pressão da água nos indicadores, é feita manualmente e individualmente.

3.4. - Sistema de Geração de Energia

O sistema de controle do conjunto turbina-gerador é próprio do conjunto com as válvulas de controle de admissão de vapor na turbina, sendo função da demanda de energia nos bornes do gerador. Quanto maior a demanda de energia, maior a admissão de vapor na turbina.

No caso de uma queda de freqüência que promova o desarmamento do gerador, o sistema aciona automaticamente um gerador a Diesel de emergência que manterá todos os módulos de tratamento ligados ao turbo-gerador, em funcionamento até o restabelecimento do sistema.

4 - Rejeitos do Processo

4.1. - Efluentes líquidos

Não são previstos efluentes industriais líquidos, exceto as purgas normais de torre de refrigeração. Todas as águas de purga, bem como excesso de águas de chuva e

águas provenientes das fossas sépticas (esgoto sanitário) são acumuladas em um único reservatório que têm sua qualidade controlada antes de serem descartadas.

4.2. - Resíduos sólidos

São geradas cinzas úmidas insolúveis resultantes da incineração do CDR no forno, retiradas pelo arrastador de cinzas, retiradas da câmara de pós-queima do forno e do fundo da caldeira de recuperação de calor. Estas cinzas e escórias podem ser direcionadas para a fabricação de pisos, tijolos, serem misturadas ao concreto, ou ainda, utilizadas para pavimentação, ou, em último caso, serem destinadas a aterros de resíduos inertes (Classe II-B). As quantidades de cinzas variam de 5 a 10% em peso do resíduo inicial processado, dependendo de sua origem e características.

4.3. - Emanações Gasosas

A chaminé emanará os efluentes gasosos em um total de cerca de 50.000 kg/hora. Testes realizados na USINAVERDE apresentaram os seguintes resultados, vis a vis com os limites legais estabelecidos na Resolução CONAMA 316/2002:

Tabela 4.3.1.1..- Tabela da emissões medidas na USINAVERDE com a comparação dos limites impostos pela CONAMA 316.2002.

ENQUADRAMENTO NA RESOLUÇÃO CONAMA 316/2002				
Substância	Concentração (mg/Nm^2)	Oxigênio Medido (% vol)	Concentração Corrigida (mg/Nm^2)	**Limite Legal (mg/Nm^2)**
Gases				
Ácido Clorídrico (HCl)	20,21	11,3	**38,52**	**80**
Ácido Fluorídrico (HF)	0,3	12,6	**0,03**	**5**
Óxido de Nitrogênio (NOx)	316	10,6	**425**	**560**
Óxido de Enxofre (SOx)	2,46	13,8	**3,75**	**280**
Material Particulado	16,72	12,6	**27,85**	**70**
Poluentes Orgânicos Persistentes (POPs)				
Dioxinas e Furanos	0,19 ng/Nm^3	10,6	**0,27 ng/Nm^3**	**0,50 ng/Nm^3**
Metais Pesados				
CLASSE I				
Cádmio (Cd)	0,015	11,7	0,08	
Mercúrio (Hg)	0,010	10,06	0,13	
Total Classe I			**0,13**	**0,28**
CLASSE II				
Níquel (Ni)	0,57	11,9	0,29	
Total Classe II			**0,29**	**1,4**
CLASSE III				
Chumbo (Pb)	8,6	11,7	4,38	
Cromo (Cr)	1,16	12,2	0,6	
Cobre (Cu)	1,75	12,2	0,9	
Antimonio (Sb)	0,39	12,3	0,2	
Total Classe III			**6,27**	**7**

Fonte: USINAVERDE, 2010. * Testes realizados em Jan/Fev de 2009

A figura 4.3.1.14. representa na forma de um esquema todo processo que ocorre na planta da USINA VERDE, apenas sendo excluído o pré-tratamento, que está representado separadamente na figura 4.3.1.10..

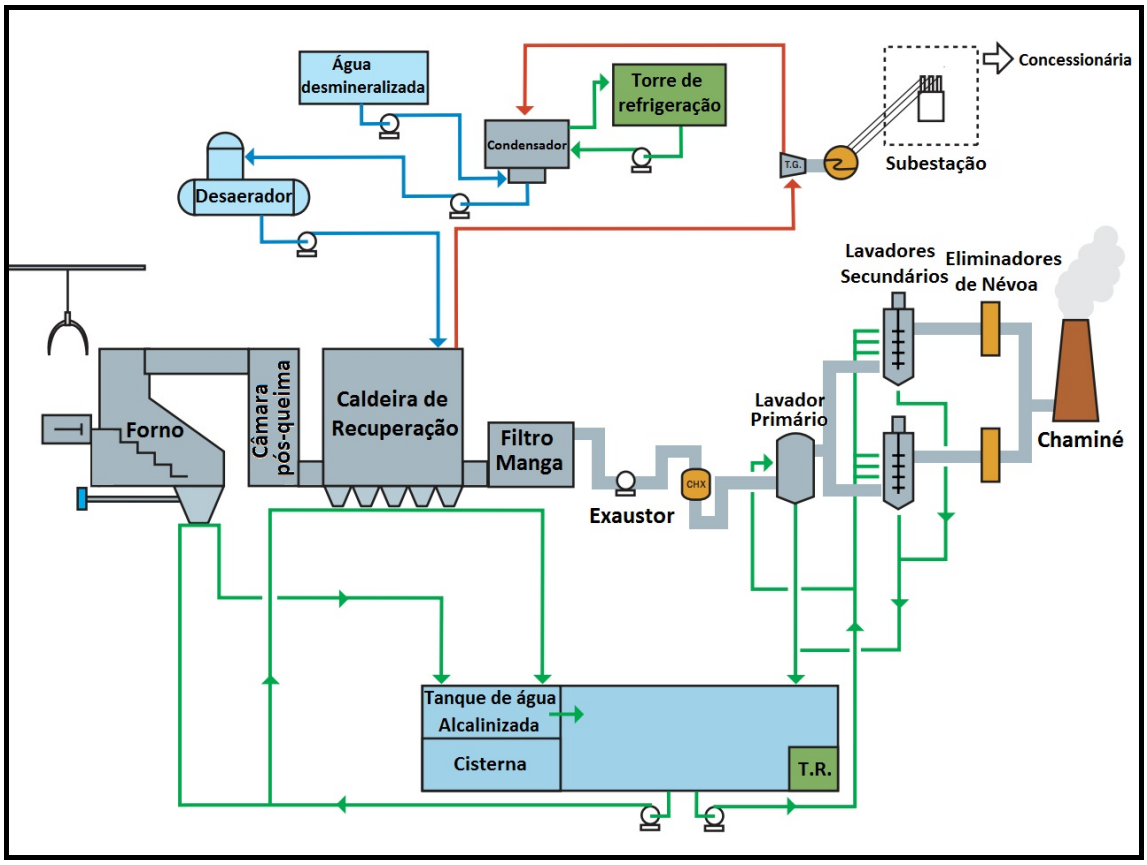

Figura 4.3.1.14. - Fluxo esquemático da planta de incineração USINA VERDE. O pré-tratamento dos resíduos incinerados não esta representado neste esquema. **Fonte:** USINAVERDE, 2010

Capítulo 5

CONSIDERAÇÕES, CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Como visto na introdução, a população mundial dobrou em apenas 44 anos, equivalendo a um aumento real de 3,4 bilhões de habitantes no planeta. Considerando esse crescimento, principalmente nos países em desenvolvimento, a solução tecnológica identificada como a mais adequada para se destinar os RSU deverá ser repensada sempre, uma vez que o volume de resíduos gerado é cada vez maior, mudando os parâmetros utilizados para a realização da análise.

Analisando os aspectos que contribuem negativamente para a qualidade do meio ambiente e para o efetivo gerenciamento dos RSU, o surgimento do plástico e sua utilização em massa a partir dos anos 60 e 70 causou grandes problemas ambientais. Mesmo durando ao menos cem anos na natureza, é indiscutível a importância dos polímeros plásticos na sociedade atual. Logo, é necessário buscar reprimir o uso inadequado e desnecessário do plástico, controlando o plástico gerado pela sociedade através de algumas ferramentas já existentes como a logística reversa e a da coleta seletiva para a reciclagem. Outra solução seria o desenvolvimento e utilização de plásticos com o tempo de degradação mais curto, podendo substituir os plásticos utilizados atualmente para produção de materiais de utilização breve, como sacolas e copos plásticos.

Dados apresentados no capítulo 1 possibilitam concluir que há um padrão diferenciado na produção de resíduos sólidos urbanos por parte dos países em desenvolvimento, quando comparado aos países já desenvolvidos, ficando claro quando os dados de geração de resíduos do Brasil, dos EUA e da Alemanha são apresentados. É possível afirmar que são culturas e economias em estágios diferentes de um processo de amadurecimento, e que não necessariamente passaram ou passarão pelas mesmas fases/etapas. É possível afirmar que o Brasil está em uma fase mais inicial deste processo, diferentemente da Alemanha que já se encontra em uma fase mais avançada.

Apesar dos EUA e Alemanha serem economias altamente desenvolvidas, elas não apresentam o mesmo padrão de produção de resíduos por viverem estágios diferentes do processo de um gerenciamento de resíduos pleno. O desenvolvimento econômico

do país é importante, porém não é o único fator que determina o nível de desenvolvimento do gerenciamento de resíduos no país.

É possível notar também que as diferenças econômicas regionais dentro de um país também determinam diferenças no padrão de produção dos resíduos. No Brasil, as cidades com maiores números de habitantes, naturalmente as mais desenvolvidas, chegam a produzir mais do que o dobro de resíduo por dia por habitante do que uma cidade pequena.

Através do capítulo 2, que aborda os aspectos tecnológicos das formas de destinação/tratamento dos RSU, é possível entender a razão pela qual os aterros sanitários são a forma de destinação dos RSU mais utilizada no mundo. A partir da análise de ambas formas de destinação observou-se que os aterros sanitários demandam de forma geral muito menos tecnologia do que as plantas de incineração. Além da questão tecnológica, pode-se dizer que outro fator crucial para a difusão dos aterros sanitários é a questão do seu custo de implantação e operacional. Importante ressaltar porém que a análise dos custos deve ser feita por duas óticas, a de um país desenvolvido e a de um país em desenvolvimento.

Em um país desenvolvido, a dificuldade e o custo para a obtenção de um terreno grande o suficiente para implantação de um aterro, e também as taxas de portão (*Gate Fees*) cobradas por cada tonelada aterrada são fatores que aumentam muito o custo da tonelada a ser aterrada. Quanto à incineração, os países desenvolvidos desfrutam de um custo mais reduzido para a implantação e para operação dessas plantas.

Já no caso de um país em desenvolvimento, os custos se invertem. Os custos de utilização dos aterros sanitários são mais reduzidos, e os da incineração são maiores. Nestes países os custos de instalação e de operação são determinantes para a escolha do aterro sanitário como a principal forma de destinar os seus RSU, principalmente porque não há uma ferramenta legal que compense essa diferença nos custos de destinação.

O resumo da avaliação comparativa entre o uso dos aterros sanitários e o uso dos incineradores para a destinação dos RSU apresentado no final do capítulo 2 possibilita concluir que nenhuma das 2 opções de destinação apresenta apenas vantagens. Ambas possuem vantagens e desvantagens distribuídas de forma equilibrada entre elas, porém há de se considerar que algumas desses aspectos têm mais pesos do que outros na tomada de decisão.

Não há como dizer em definitivo qual é a melhor tecnologia para a disposição dos resíduos sólidos urbanos, porém é possível discutir qual tecnologia está mais adequada a cada realidade sócio-econômica que se insere. No caso dos países em desenvolvimento, os aterros sanitários são mais apropriados, pois o custo da disposição é menor do que nos países desenvolvidos, inclusive pela ausência da prática de cobrança *Gates Fees*. Porém, mesmo em países em desenvolvimento, alguns projetos de aterros sanitários se tornam inviáveis pela sua distância, aumentando muito os custos de transporte dos resíduos. Além disso, atualmente, a prática da incineração exige a existência de sistemas para o controle da poluição do ar que ainda são muito caros, reduzindo as possibilidades de utilização desta forma de destinação.

No caso dos países desenvolvidos, as plantas de incineração passam a ser uma opção para a destinação dos RSU, pois o custo de utilização dos aterros é maior devido à escassez de terrenos próximos às metrópoles, e também devido à prática de cobrança das *Gate Fees*. Por último, o uso dos incineradores se faz conveniente nos países desenvolvidos devido também à necessidade de redução das emissões dos gases de efeito estufa, previsto no protocolo de Kyoto.

No capítulo 3, dedicado exclusivamente às experiências internacionais, no que diz respeito às ferramentas legais e administrativas estudadas, foi possível observar que a Alemanha é o país que lançou a mais tempo suas regulamentações a respeito dos aterros sanitários e incineradores, cerca de 10 anos antes de serem editadas as diretiva da União Européia sobre o mesmo tema. Como resultado dessa preocupação “precoce” e a criação dessas regulamentações, a Alemanha atualmente apresenta a menor taxa de aterragem da Europa, que também é a menor do mundo, têm a maior taxa de reciclagem, e além disso, trata termicamente 32% dos seus RSU com reduzidas emissões de poluentes para a atmosfera, principalmente de dioxinas e furanos.

Pelos dados da tabela 4.4. é possível afirmar que, além de ter sido editada antecipadamente a todas regulamentações dos países analisados, a portaria Alemã relativa à incineração apresenta os valores limites de emissão de poluentes mais restringentes dentre os países analisados. Conclui-se portanto que, as ferramentas legais e administrativas utilizadas na gestão ambiental dos resíduos são peças fundamentais no processo de evolução e melhoria do gerenciamento dos resíduos por parte do poder público.

Além das diretivas específicas sobre os aterros sanitários e sobre os incineradores, outras diretivas editadas pela União Européia foram importantes no processo de mudança no panorama do gerenciamento de resíduos de alguns países europeus, como foi no caso da Alemanha.

O perfil atual do gerenciamento de resíduos nos EUA mostra um grande “atraso” no uso das tecnologias de incineração para tratar os RSU, pois durante um longo período não foi construída nenhuma planta de incineração, principalmente devido à ausência de incentivos políticos fiscais. Juntamente a isso, a ausência de regulamentação que limitasse o uso dos aterros, e de legislação específica que incentivasse o uso de incineradores, foram cruciais para construção do estado atual do gerenciamento dos RSU nos EUA. A maioria dos fatores que existiam e fizeram parte da mudança no paradigma do gerenciamento dos RSU na Alemanha, eram ausentes nos EUA neste mesmo período, criando então esta diferença tão brusca nos gerenciamento dos RSU de um país para o outro.

Na Europa, apesar de a Alemanha ser utilizada como modelo no que tange ao gerenciamento de RSU, a realidade do gerenciamento para grande parte dos demais países que compõem a UE não é a mesma. Conclui-se portanto que, estando os países da UE submetidos às mesmas diretivas do bloco, não pode-se atribuir todo o mérito da mudança no gerenciamento dos RSU apenas às ferramentas legais e administrativas existentes. O esforço de mudança está muito além dessas ferramentas, exigindo um esforço político muito grande, além do esforço por parte dos geradores destes resíduos, a população.

O Brasil ainda apresenta um quadro desfavorável quanto ao gerenciamento de resíduos. Atualmente aterra mais de 90% de todo o RSU produzido. Apesar do Brasil se destacar na reciclagem de alguns materiais, o percentual total da reciclagem no Brasil não chega próximo de 10% dos RSU produzidos. O caminho mais provável e imediato para o futuro do gerenciamento dos RSU no Brasil é o aumento progressivo da quantidade de resíduos reciclados, pois a melhora nos níveis de recuperação de materiais não depende de novas tecnologias e nem de altos investimentos, apenas de mudanças políticas e sociais que propiciem o desenvolvimento desta cadeia de reciclagem. Além disso, as leis federais emitidas recentemente prevêm e incentivam ao máximo esta recuperação de materiais, com destaque para a lei federal nº 12.305/2010.

O Brasil atualmente não pratica a incineração dos seus RSU numa escala comercial. Existem iniciativas estaduais, principalmente no estado de SP, que buscam a implementação de plantas para o tratamento térmico dos resíduos com a recuperação energética. Outros estados também ensaiam e buscam a utilização deste tipo de tratamento, porém ainda é algo relativamente distante de se tornar realidade a nível nacional, sendo possível atualmente apenas a nível local, nas regiões mais ricas do país.

A lei federal nº 12.305/2010 foi o primeiro passo dado a nível federal no Brasil em direção a um adequado gerenciamento dos RSU, sendo o primeiro de outros que virão em seguida, pois trata-se de uma lei que prevê a criação de ferramentas e de novas regulamentações.

No Brasil, o maior esforço atual consiste em extinguir todos os vazadouros de resíduos existentes, substituindo-os por aterros sanitários adequados à destinação dos resíduos. Além disso, grande parte desse esforço consiste em melhorar os níveis de reciclagem, e iniciar a utilização da incineração como forma de destinar os RSU. Um adequado gerenciamento dos RSU exige que diferentes estágios sejam ultrapassados até se alcançar uma maturidade. Pode-se dizer que o Brasil ainda se encontra nos primeiros estágios desta progressão.

O Estado do Rio de Janeiro, através da Secretaria de Estado do Ambiente, possui alguns programas voltados para a melhora do gerenciamento de resíduos no estado. Dentre eles, o programa “Programa Coleta Seletiva Solidária” e o programa de redução das sacolas plásticas são os programas com maior importância no gerenciamento dos RSU. Ambos os programas são iniciativas relativamente recentes, 2007 e 2009, precisando passar por ajustes para que então apresentem resultados concretos e satisfatórios.

A USINAVERDE, no estado do Rio de Janeiro, apesar de se constituir apenas em uma usina protótipo, surge como um caminho possível para o início da prática de incineração dos RSU no estado do RJ e no Brasil. Os testes de emissões realizados na planta mostraram que, do ponto de vista das emissões atmosféricas, a usina atende às exigências que constam na resolução CONAMA nº 316/2002, derrubando uma das maiores barreiras existentes na utilização dos incineradores, as emissões atmosféricas.

No Brasil, o predomínio da utilização dos aterros sanitários para a destinação dos RSU ainda continuará por um longo tempo, até que a quantidade de resíduos reciclados e de resíduos tratados termicamente aumente, e então acontecerá uma reversão deste quadro.

Para que o desenvolvimento do gerenciamento dos resíduos aconteça a nível nacional é necessário que melhorem as condições do gerenciamento dos RSU principalmente nas pequenas e médias cidades, reduzindo as diferenças regionais na qualidade da destinação dos RSU. Em paralelo é necessário continuar com a criação de ferramentas econômicas e legais que acompanhem e deem suporte ao progresso do gerenciamento dos resíduos no país.

Através de alguns exemplos bem-sucedidos de parcerias público-privada (PPP) entre o setor privado e algumas prefeituras locais no estado do Rio de Janeiro, conclui-se que esta se constitui como uma possível solução imediata para o gerenciamento dos resíduos no Brasil. Este modelo, através das PPPs, poderia ser proposto nacionalmente para reduzir o problema dos lixões e assim criar condições adequadas para uma gestão dos resíduos municipais através dos aterros sanitários.

Por fim, é importante ressaltar que a carência de estudos específicos sobre a geração e gestão dos resíduos sólidos urbanos no Brasil é também um fator limitante no desenvolvimento da gestão dos resíduos no país, diminuindo as possibilidades e a eficácia das ações relativas ao gerenciamento dos resíduos no país.

Referências Bibliográficas

ABRE, 2010*. Apresentação do Setor. Histórico*. Associação Brasileira de Embalagem. Disponível em <http://www.abre.org.br/apres_setor_historico.php>. Acesso em 20 de Novembro de 2010.

ABRELPE, 2009. *Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2009.* Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais.

AEB, 2010. *Facts and Figures*. Afval Energie Bedrijf - Gemeente Amsterdan. Disponível em <http://www.aebamsterdam.com/en/home>. Acesso em 20 de Novembro de 2010.

ALCOS, C., *The World's Most Offensive Landfills.* MatadorNetwork, 2009. Disponível em <http://matadornetwork.com/change/the-worlds-most-offensive-landfills>. Acesso em 04 de Outubro de 2010.

AMBIENTE BRASIL. 2010. *Sem aterros, SP planeja incinerar lixo.* Disponível em: <http://noticias.ambientebrasil.com.br/clipping/2009/09/21/48373-sem-aterros-sp-planeja-incinerar-lixo.html>. Acesso em 20 de Dezembro de 2010.

AMES CITY, 2010. *We're Turning Garbage Into Energy!.* Disponível em: <http://www.cityofames.org/worksweb/resourcerecovery/default.htm>. Acesso em 10 de Abril de 2010

ATIBAIENSE, 2010. *Prefeitura pretende instalar usina verde em Atibaia*. Disponível em: <http://www.oatibaiense.com.br/News/8/1439/prefeitura-pretende-instalar-usina-verde-em-atibaia/>. Acesso em 10 de Janeiro de 2011.

AUGENSTEIN, D., J PACEY, *Landfill Methane Models* 14th Annual Landfill Gas Symposium Proceedings, Research Triangle Park, 1991. Ed. SWANA. Triangle Research Park. 1991. III-87 – III-111**.**

BMU, 2006. Bundesministerium für Umwelt*.2006 Municipal Solid Waste Management Report.* Setembro de 2006. Disponível em <http://www.bmu.de/english/waste_management/downloads/docs/38629/>. Acesso em 15 de março de 2010.

BMU, 2007. Bundesministerium für Umwelt*. General Information Waste Management in Germany.* Setembro de 2007. Disponível em <http://www.bmu.de/english/waste_management/general_information/doc/4304.php> . Acesso em 30 de março de 2010

BMU, 2010. Bundesministerium für Umwelt*. Waste Management in Germany 2009. Facts, Data, Graphics.* Disponível em <http://www.bmu.de/english/waste_management/downloads/doc/45740.php> . Acesso em 31 de março de 2010

BONTOUX, L.. *The Incineration of Waste in Europe: Issues and Perspectives*, European Commission Joint Research Centre, 1999.

BURGER, E.. *O aterro é só o começo*. Disponível em <http://planetasustentavel.abril.com.br/blog/lixograma/aterro-so-comeco-234467_post.shtml> . Acesso em 20 de Janeiro de 2011.

CALDERONI, S. "Os Bilhões Perdidos no Lixo", 3ª edição, Humanitas, 1999.

CENTROVOLTA, 2010*. Brescia's Waste Incinerator*. Centro di Cultura Scientifica Alessandro Volta. Disponível em <http://www.centrovolta.it/laviadellenergia/inglese/territorio/brescia.htm>. Acesso em 20 de Novembro de 2010.

CEPEA, Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada - ESALQ-USP. *Estudo do potencial de geração de energia renovável proveniente dos "aterros sanitários" nas regiões metropolitanas e grandes cidades do Brasil*. Piracicaba, 2004.

CEWEP, 2008. Disponível em <http://www.cewep.com/data/studies/art145,138.html>. Acesso em 22 de Agosto de 2010.

CLARK COUNTY, *Comprehensive Plan Elements Conservation Element*, 2010. Disponível em <http://www.accessclarkcounty.com/depts/comprehensive_planning/compplanelements/Pages/conservation_element_ch1_solidwaste.aspx>. Acesso em 07 de Outubro de 2010.

COMLURB, 2009. *Caracterização Gravimétrica e Microbiológica dos Resíduos Sólidos Domiciliares* - 2009. Companhia de Limpeza Urbana. Disponível em <http://comlurb.rio.rj.gov.br/ma_lcoletado.asp#comp_grav>. Acesso em: 16 de Novembro de 2010.

COMLURB, 2010. *Apresentação BIOGÁS* .Companhia de Limpeza Urbana. Disponível em <http://comlurb.rio.rj.gov.br/biogas/Apresenta%C3%A7%C3%A3o%20BIOGAS.pps>. Acesso em: 16 de Novembro de 2010.

CONDER - Companhia de Desenvolvimento Urbano do Estado da Bahia. *Manual de Operação de Aterros Sanitários*. Disponível em: <http://www.conder.ba.gov.br/manual_aterro.pdf>. Acesso em: 16 de Novembro de 2009.

CTR, 2010. *Serviços - Implantação e Operações*. CTR Nova Iguaçu. Disponível em <http://www.ctrnovaiguacu.com.br>. Acesso em 13 de Outubro de 2010.

CUNHA, L.M.S. & FERNANDEZ, C.Y.H. *A indústria de cimento: perspectivas de retomada gradual* BNDES Setorial, v.18, p. 149-164. 2003.

ECOLOG, 2010. *Landfill financial assurance – just how much is this going to cost?.* Disponível em <http://www.ecolog.com/gartnerlee/news/askanexpert.htm>. Acesso em 30 de Outubro de 2010.

EEA, 2009. Environmental European Agency. EEA Report / Nº 7/2009. *Diverting waste from Landfill*. 2009.

EIA (Energy Information Administration). US Department of Energy. Growth of the landfill gas industry;1996; Disponível em : <http://www.eia.doe.gov/cneaf/solar.renewables/renewable.energy.annual/chap10.html> Acesso em: 9 de Setembro de 2010

EIA**,** 2002. DOE-EIA, Annual Energy Outlook 2002**.**

ENVIRONMENT CANADA - Conestoga-Rovers & Associates (for Waste Treatment Division, Hazardous Waste Branch), Guidance Document for Landfill Gas Management, (Environment Canada, Ottawa, 1996)

EPI. EPI technology, June 28, 2004. Disponível em <http://www.energyproducts.com/EPITechnology.htm>. Acesso em 25 de Novembro de 2010.

EUROPASLE, 2010. *Incineração de resíduos*. Europa. Síntese da legislação Européia. Disponível em <http://europa.eu/legislation_summaries/environment/waste_management/l28072_pt.htm>. Acesso em 25 de Abril de 2010.

EUROSTAT, 2010. *Treatment of Municipal Solid Waste in the EU 27 in 2006*. Disponível em <http://ec.europa.eu/environment/waste/strategy.htm>. Acesso em 20 de Dezembro de 2010.

FEA, 2002. Federal Environment Agency - Austria (Umweltbundesant), 2002. *State of the Art for Waste Incineration Plants.* Vienna, 2002.

FME, 2005. *Waste Incineration – A Potencial Danger?*.Federal Ministry for Environment, Nature Conservation and Nuclear Safety.

GAIA, 2011. *Incinerators. Burning waste has many negative environmental, social and health consequences*. GAIA - Global Anti-Incinerator Alliance. Disponível em <http://www.no-burn.org/section.php?id=84>. Acesso em 20 de Janeiro de 2011.

GÖERNER K. Waste incineration: European state-of-the-art and new develop-ment. IFRF Combustion Journal 2003, Article No. 200303. 32pp.

HAM, Robert K., and Morton A. Barlaz, "Measurement and Prediction of Landfill Gas Quality and Quantity" in Sanitary Landfilling : Process, Technology and Environmental Impact ed. Thomas H. Chistensen, Raffaello Cossu, and Rainer Stegmann (Academic Press, New York, 1989) p.155-158

HARREN, R., GOLDSTEIN, N., THEMELIS, N.J.,, 2010. *The state of Garbage in America*. BioCycle (51), 16–23.(2010).

HAZTEC, 2010. *Parte do Projeto Executivo da CTR Nova Iguaçu*. Obtido através de uma visita à unidade através de contato com a então Supervisora Ambiental, Graciela Dornelas.

HENAN, 2009. Henan Bailing Machinery Co. Disponível em <http://www.rotarykilns.org/Rotary_Kiln.html>. Acesso em 15 de Setembro de 2010.

HIRANI, E. W.; MAMANI, L. A. G., 2007. *Algoritmos Evolucionários para Otimização Multi-objetivo no Projeto de Sistemas Térmicos*,.Disponível em <http://www.das.ufsc.br/~gb/pg-ic/multiGA/DAS%206652%20-%20Apresenta%E7%E3o.ppt#256,1,Slide1. Acesso em 12 de setembro de 2010>.

HTTCORP, 2009, *HTT Rotary Kiln Solid Waste Disposal System.* Disponível em: <http://www.hitemptech.com/municipal.htm>. Acesso em 5 de Agosto de 2009.

ICLEI. *Manual para aproveitamento do biogás: volume um, aterros sanitários*. ICLEI - Governos Locais pela Sustentabilidade, Secretariado para América Latina e Caribe, Escritório de projetos no Brasil, São Paulo, 2009.

IPCC - PAINEL INTERGOVERNAMENTAL SOBRE MUDANÇA DO CLIMA (2007). Mudança do Clima 2007: Impactos, Adaptação e Vulnerabilidade. Contribuição do Grupo de Trabalho II ao Quarto Relatório de Avaliação do Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima, 2007.

ISWA, 2010. *Waste-to-Energy: Less Environmental Impact than Almost Any Other Source of Electricity* Disponível em: <http://web.archive.org/web/20080625103459/http://www.wte.org/environment/>. Acesso em 10 de Abril de 2010.

KAUFMAN S.M., GOLDSTEIN N,MILLRATH K, Themelis NJ. The state of garbage in America. BioCycle 2004:31–41.

KNOX, Andrew. 2005. *An Overview of Incineration and EFW Technology as Applied to the Management of Municipal Solid Waste (MSW)*, ONEIA Energy Subcommittee,

KOMATSU, C.E. 2004. *Co-processamento de resíduos industriais em fornos clínquer*. In: Feira Internacional de Meio Ambiente Industrial (FIMAI). 4º. São Paulo: ABCP. Disponível em <http://www.abcp.org.br/sala_de_imprensa/noticias/fimai.shtml>. Acesso em 12/02/2009.

KOORNNEEF, J.. *Development of fluidized bed combustion—An overview of trends, performance and cost*, Progress in Energy and Combustion Science 33 (2007) 19–55.

LESTER, R. B., 2009. *It's Time to Throw Out the Throwaway Economy*. Disponível em < http://www.motherearthnews.com/Nature-Community/Waste-Pollution-Disposable-Products.aspx>. Acesso em 12/02/2011.

LIMA, Luiz Mário Queiroz. *Tratamento de Lixo*, São Paulo, 2ª edição Hemus Editora, 1*991.*

LIXO, 2011. *Gerenciamento de Resíduos.Tempo de decomposiçã*o. Disponível em: <http://www.lixo.com.br/index.php?option=com_content&task=view&id=146&Itemid=252> . Acesso em 10 de Janeiro de 2011.

MAGRINI, A., 2010. *Material de aula. Disciplina Gestão Ambiental*. Prof. D.Sc. Alessandra Magrini. Programa de Planejamento Energético. Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia.

MCBEAN, E.A., F.A. ROVERS, AND G.J. FARQUHAR. Solid Waste Landfill Engineering and Design, New Jersey: Prentice Hall, 1995.

MCT, 2011. *Status atual das atividades de projeto no âmbito do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) no Brasil e no mundo.* Ministério de Ciência e Tecnologia. Disponível em: <http://www.mct.gov.br/index.php/content/view/30317.html>. Acesso em 10 de Janeiro de 2011.

MENDES, L.G.G., SOBRINHO, P.M., 2005. *Métodos de estimativa de geração de biogás em aterro sanitário*. Rev. ciênc. exatas, Taubaté, v. 11, n. 2, p. 71-76. Disponível em: <http://periodicos.unitau.br/ojs-2.2/index.php/exatas/article/viewFile/358/480>. Acesso em 10 de Janeiro de 2011.

MICHAELS, T., 2007. *The 2007 ISWA Directory of Waste-to-Energy Plants*, ISWA, June. Disponível em : <http://www.energyrecoverycouncil.org/userfiles/file/IWSA_2007_Directory.pdf. > Acesso em 15 de Janeiro de 2011.

MICHAELS, T., 2010. *The 2010 ERC Directory of Waste-to-Energy Plants*, Energy Recovery Council, Novembro de 2010. Disponível em <http://www.wte.org/erc-releases-directory-waste-energy-plants-a3045>. Acesso em 25 de Novembro de 2010.

MME & EPE. *Balanço Energético Nacional 2004 – Ano base 2003*. Rio de Janeiro: Empresa de Pesquisa Energética. 2004.

MME & EPE. *Balanço Energético Nacional 2006 – Ano base 2005*. Rio de Janeiro: Empresa de Pesquisa Energética. 2006.

MORROW, R.S.; *Renewable fuel grate firing combustion technology—the European experience.* 2005; Disponível em: http://www.mass.gov/Eoeea/docs/doer/rps/mor-rpt.pdf. Acesso em 23 de Novembro de 2010.

NICHO, 2004. *DEMISTER*. Nicho Company Limited. Disponível em <http://www.nicho.co.th/DEMISTER.asp>. Acesso em 10 de Setembro de 2010.

NOVAGERAR, 2010. *Minimização de Gases de Efeito Estufa e Aproveitamento Energético do Biogás na CTR Nova Iguaçu*. Disponível em <http://www.ethos.org.br/Cl/apresentacoes/apresentacoes_10-06/AdrianaFelipetto-ProjetoNovaGerar.pdf>. Acesso em 12 de Julho de 2007.

PEREIRA, J. C., Motores e Geradores – *Princípio de funcionamento, instalação e manutenção de grupos diesel geradores*, 2006. Disponível em <http://www.joseclaudio.eng.br>. Acesso em 11 de setembro de 2010.

PINHEIRO, J. 2011. *Gramacho.* Disponível em <http://www.lixo.com.br/index.php?option=com_content&task=view&id=154&Itemid=146> . Acesso em 15 de Janeiro de 2011.

POLLUTIONISSUES, 2010. *Incineration*. Pollution Issues. Disponível em <http://www.pollutionissues.com/Ho-Li/Incineration.html>. Acesso em 10 de Dezembro de 2010.

PPAW, 2010. *Waste-to-Energy Plants in France*. Power Plants Around the World. Disponível em <http://www.industcards.com/wte-france.htm>. Acesso em 20 de Novembro de 2010.

PRB, 2010. *Human Population: Fundamentals of Growth Population Growth and Distribution*. Population Reference Bureau. Disponível em <http://www.uncg.edu/gar/courses/lixl/380BLS/380Unit5/Lesson5Europe1900_files/PopulationGrowth.htm>. Acesso em 20 de Novembro de 2010.

PSOMOPOULOS, C.S. et al. 2009. *Waste-to-energy: A review of the status and benefits in USA*. Waste Management 29 (2009) 1718–1724

REINHART, D. 1995. *The Impact of Leachate Recirculation on Municipal Solid Waste Landfill Operating Characteristics*. Waste Management & Research (1996).

RENOSAM, 2006. *The most efficient waste management system in Europe • Waste-to-energy in Denmark*. Denmark, Ramboll. 2006.

RUMPKE, 2010. *Fact Sheet - Rumpke Sanitary Landfill's Proposed Eastern Expansion Plans.* Rumpke Consolidated Companies, Inc., 2010. Disponível em <http://www.rumpke.com/pdfs/RSL_Landfill_FactSheet_11x17.pdf> . Acesso em 06 de Outubro de 2010.

SANTEC, 2010. Disponível em <http://www.santecresiduos.com.br/aterro/>. Acesso em 7 de Setembro de 2010.

SEA RJ, 2009. Apresentação: *Política Estadual Para Resíduos Sólidos*. Secretaria de Estado do Ambiente do Estado do Rio de Janeiro. Disponível em: <http://www.querodiscutiromeuestado.rj.gov.br/CMS/uploads/publicacoes/09.11.30-19.47.00-politica_de_residuos_solidos_alerj_nov2009.pdf>. Acesso em 20 de Novembro de 2010.

SEILER, 2009. *Rotary Kilns*. Seiler Anlagenbau GmbH. Disponível em <http://www.seiler.co.at/en_waste.asp>. Acesso em 15 de Agosto de 2009.

SIMMONS, P., GOLDSTEIN, N., KAUFMAN, S.M., THEMELIS, N.J., THOMPSON JR., J., 2006. *The state of Garbage in America*. BioCycle 4 (47), 26–43.

SNIC. Produção por grupos – Ano 2006. Sindicato Nacional da Indústria de Cimento. 2007. Disponível em <http://www.snic.org.br>. Acesso em 10/02/2007.

SNIC. 2008. *Relatório anual Ano 2008.* Sindicato Nacional da Indústria de Cimento. Disponível em <http://www.snic.org.br>. Acesso em 22/03/2010.

STEVENSON, W., 2002. *Emissions from Large MWC Units at MACT Compliance.* Memorandum to Docket A-90-45, US EPA, Research Triangle Park, NC.

SUBRAMANIAN, A.K., MARWAHA Y. *Use of bagasse and other biomass fuels in high pressure travelling grate boilers*. Int Sugar J 2006;108:6–9

TANGRI, N., 2003, *Waste Incineration: A Dying Technology*. 1ªedição. Berkeley.

TENNESSEE VALLEY AUTHORITY. *Fluidized bed combustion and gasification: a guide for biomass waste generators*. Chatta-nooga: Southeastern regional biomass energy program;1994.

THEMELIS, N.J.; ULLOA, P.A. *Methane generation in landfills*. Renewable Energy 32 (2007) 1243–1257

UE, 2000. *Directiva 2000/76/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 4 de Dezembro de 2000, relativa à incineração de residuos.*

US EPA, 2010. *Municipal Solid Waste in the United States: Facts and Figures for 2009*. United States Environmental Protection Agency. Dezembro de 2010.

US EPA, 2009. *Municipal Solid Waste Generation, Recycling, and Disposal in the United States: Facts and Figures for 2008*. United States Environmental Protection Agency. Novembro de 2009.

US EPA, 2008. *Municipal Solid Waste in The United States: 2007 Facts And Figures*. United States Environmental Protection Agency. Novembro de 2008.

US EPA, 2007. *Biomass combined heat and power catalog of technologies*. Setembro de 2007. Disponível em <http://www.epa.gov/chp/documents/biomass_chp_catalog.pdf>. Acesso em 10 de Abril de 2010.

US EPA, 2003. Disponível em: <http://web.archive.org/web/20071009073636/www.wte.org/docs/epaletter.pdf> . Acesso em 12 de Abril de 2010.

USINAVERDE, 2010. *Reciclagem Energética de Resíduos Sólidos Urbanos - Informações Gerais*. Documento obtido através de contato direto com a empresa, através do funcionário Luiz Malta.

TANGRI, N., 2003. *Waste Incineration: A Dying Technology* (14 July 2003). "Waste Incineration: A Dying Technology"

WASTEONLINE, 2010. Disponível em <http://www.wasteonline.org.uk/index.aspx>. Acesso em 22 de Setembro de 2010

WISCONSIN, 2000. *Information on Toxic Chemicals: Methane*. State of Wisconsin. Disponível em <http://www.dhs.wisconsin.gov/eh/chemfs/pdf/methane.pdf>. Acesso em 24 de Janeiro de 2011.

WM INC,*Okeechobee Landfill-Facility Fact Sheet.* Waste Management, Inc., 2010a. Disponível em <http://www.wmdisposal.com/facilities/results.asp?state=FL>. Acesso em 06 de Outubro de 2010.

WM INC, *Pine Tree Acres Landfill - Facility Fact Sheet.* Waste Management, Inc., 2010b. Disponível em <http://www.wmdisposal.com/facilities/results.asp?state=MI>. Acesso em 06 de Outubro de 2010.

WM INC, *Denver Arapahoe Disposal Site - Facility Fact Sheet.* Waste Management, Inc., 2010c. Disponível em <http://www.wmdisposal.com/facilities/results.asp?state=CO>. Acesso em 06 de Outubro de 2010.

WORLD BANK. *Municipal Solid Waste Incineration.* World Bank Technical Guidance Report. Washington, D.C. 1999.

WORLD BANK, 2010. *World Development Indicators*. December, 2010. Disponível em <http://data.worldbank.org/data-catalog/world-development-indicators?cid=GPD_WDI>. Acesso em 14 de Fevereiro de 2011.

YIN C. *et al*. *Grate-firing of biomass for heat and power production*. Progress in Energy and Combustion Science 34 (2008) 725–754