

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO**  
**INSTITUTO DE ELETROTÉCNICA E ENERGIA**

**CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM GESTÃO AMBIENTAL E  
NEGÓCIOS NO SETOR ENERGÉTICO**

**JÚLIA VAN LANGENDONCK BARRETTO DE CARVALHO**

**“ESTUDO DE CASO DA USINA TERMOELÉTRICA DE SÃO JOSÉ  
DOS CAMPOS COMO ALTERNATIVA A ESCASSEZ DE ÁREAS  
DISPONÍVEIS PARA ARMAZENAMENTO DE RESÍDUOS  
SÓLIDOS URBANOS”**

**SÃO PAULO**

**2012**

**JÚLIA VAN LANGENDONCK BARRETTO DE CARVALHO**

**“ESTUDO DE CASO DA USINA TERMOELÉTRICA DE SÃO JOSÉ DOS  
CAMPOS COMO ALTERNATIVA A ESCASSEZ DE ÁREAS DISPONÍVEIS  
PARA ARMAZENAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS”**

**Monografia para a conclusão do Curso de  
Especialização em Gestão Ambiental e Negócios  
no Setor Energético do Instituto de Eletrotécnica  
e Energia da Universidade de São Paulo.**

**Prof. Dr. Paulo Antônio de Almeida Sinisgalli**

**SÃO PAULO**

**2012**

AUTORIZO A REPRODUÇÃO E DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

### FICHA CATALOGRÁFICA

Carvalho, Júlia van Langendonck Barretto de

Estudo de caso da Usina Termoelétrica de São José dos Campos como alternativa a escassez de áreas disponíveis para armazenamento de resíduos sólidos urbanos./ Júlia van Langendonck Barretto de Carvalho; orientador Paulo Antônio de Almeida Sinisgalli. – São Paulo, 2012.

102 p.: il.; 30cm.

Monografia (Curso de Especialização em Gestão Ambiental e Negócios no Setor Energético) Instituto de Eletrotécnica e Energia Universidade de São Paulo.

1. Resíduos sólidos 2. Reciclagem de resíduos urbanos 3. Compostagem. 4. Incineração de resíduos urbanos 4 Geração de energia elétrica I. Título.

# FOLHA DE APROVAÇÃO

## Agradecimentos

Ao Carlos Henrique A. Oliveira pelas críticas inteligentes e sugestões perspicazes fornecidas para a melhoria do trabalho.

Ao meu orientador, Paulo Sinisgalli, cuja presença foi essencial para que este trabalho pudesse ser concluído.

À minha coordenadora Renata Grisoli que ao longo do curso se empenhou bravamente em ouvir e se tornar a voz da daqueles que requeriam melhorias.

À minha amiga Andrea Genehr, pelo companheirismo, amizade e carisma.

À Cremilda Hibari Sakamoto Fujii, Cristiana Vianna, Renata Furlan, Marina Ghoraybe Garcia, Liliane Silva Souza e Cleide Regina Rocha Santos pelo apoio mútuo nestes tempos difíceis e pela amizade.

Ao Lucas André Lobo Gomes, pelo auxílio na revisão da monografia.

*“O ser humano vivência a si mesmo,  
seus pensamentos como algo separado  
do resto do universo - numa espécie de  
ilusão de ótica de sua consciência.  
E essa ilusão é uma espécie de prisão  
que nos restringe a nossos desejos pessoais,  
conceitos e ao afeto por pessoas mais próximas.  
Nossa principal tarefa é a de nos livrarmos dessa prisão,  
ampliando o nosso círculo de compaixão,  
para que ele abranja todos os seres vivos  
e toda a natureza em sua beleza.  
Ninguém conseguirá alcançar completamente esse objetivo,  
mas lutar pela sua realização  
já é por si só parte de nossa liberação  
e o alicerce de nossa segurança interior”.*

## RESUMO

CARVALHO, J. V. L. B. de. **Estudo de caso da usina termoeletrica de São José dos Campos como alternativa a escassez de áreas disponíveis para armazenamento de resíduos sólidos urbanos.** 2012. 102 páginas. Monografia (Especialização em Gestão Ambiental e Negócios no setor Energético) – Instituto de eletrotécnica e Energia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

O Brasil produz 161.084 toneladas de resíduos sólidos urbanos por dia e a constante intensificação das atividades humanas nas últimas décadas tem agravado o problema de destinação final destes resíduos, causando um grave problema para a administração pública e para a sociedade. O crescimento desordenado e desenfreado da população, conjuntamente com a falta de planejamento urbano, dificulta o manejo destes resíduos, acarretando em disposição irregular dos mesmos e, conseqüentemente, problemas na saúde pública e no setor ambiental. O objetivo do presente trabalho é discutir o problema de disposição de resíduos sólidos no Estado de São Paulo e avaliar todos os processos alternativos de tratamento do lixo e disposição final. Conclui-se que a escolha de uma via somente não irá solucionar o problema em sua forma mais abrangente e eficaz. Para ilustrar a situação, de forma explicativa, foi desenvolvido um estudo de caso no Município de São José dos Campos, SP.

Palavras-chave: Resíduos Sólidos Urbanos, Logística Reversa, Reciclagem, Compostagem, Incineração, Geração de Energia.

## ABSTRACT

CARVALHO, J. V. L. B. de. **Case Study of the thermoelectric plant in Sao Jose dos Campos as the scarcity of alternative areas available for storage of solid waste.** 2012. 102 pages. Monograph (Specialization in Environmental and Energy Business Sector) – Instituto de eletrotécnica e Energia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

Brazil produces 161.084 tons of solid waste per day and the constant intensification of human activities in recent decades has aggravated the problem of disposal of these wastes, causing a serious problem for the government and society. The uncontrolled and unplanned growth of the population, together with the lack of urban planning, complicates the management of these wastes, resulting in an irregular arrangement of the same and, consequently, problems in public health and the environmental sector. The objective of this paper is to discuss the problem of solid waste disposal in the state of Sao Paulo and evaluate all alternative processes of waste treatment and disposal. It was concluded that the choice of a route will not only solve the problem in its most comprehensive and effective. To illustrate the situation, in an explanatory way, a case study was developed in São José dos Campos, SP.

Keywords: Municipal Solid Waste, Reverse Logistics, Recycling, Composting, Incineration, Power Generation.

**LISTA DE FIGURAS**

Figura 1. Armazenamento do lixo coletado durante o dia	30
Figura 2.1 Montagem de leira para compostagem	33
Figura 2.2 Leira Pronta	34
Figura 3.1 Tratamento Mecânico Biológico	35
Figura 3.2 Métodos de tratamento mecânico biológico	37/38
Figura 4. Aproveitamento energético de resíduos sólidos	39
Figura 5. Estruturas Moleculares do Dibenzo-p-dioxina e do Dibenzofurano	54
Figura 6. Motor de Ciclo Otto de 4 tempos	56
Figura 7. Turbina a gás	56
Figura 8. Ciclo de Brayton	57
Figura 9. Microturbina	57
Figura 10. Aterro Sanitário	65
Figura 11. Aterro Controlado	66
Figura 12. Lixão	67

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico1. Situação Geral do Estado de São Paulo quanto às quantidades de resíduos sólidos domiciliares gerados e a faixa de enquadramento do IQR	17
Gráfico 2. Composição do lixo brasileiro	21
Gráfico 3.1 Composição do material particulado fino	42
Gráfico 3.2 Composição do material particulado grosso	43
Gráfico 4.1 Classificação das concentrações medias anuais para MP <sub>2,5</sub>	44
Gráfico 4.2 Classificação das concentrações médias anuais de MP <sub>10</sub>	44
Gráfico 4.3 Distribuição percentual da qualidade do ar para MP <sub>10</sub>	45
Gráfico 4.4 Evolução das concentrações médias anuais de MP <sub>10</sub>	46
Gráfico 5.1 Classificação das concentrações médias anuais de SO <sub>2</sub> nas regiões metropolitanas de São Paulo	48
Gráfico 5.2 Evolução das concentrações médias anuais do SO <sub>2</sub> nas regiões metropolitanas de São Paulo	48
Gráfico 6.1 Distribuição percentual da qualidade do ar para CO	50
Gráfico 6.2 Evolução das concentrações médias anuais das máximas diárias para CO, nas regiões metropolitanas de São Paulo	50
Gráfico 7.1 Classificação das concentrações médias anuais de NO <sub>2</sub> nas regiões metropolitanas de São Paulo	51
Gráfico 7.2 Distribuição percentual da qualidade do ar para NO <sub>2</sub>	52
Gráfico 8.1 Número de dias de ultrapassagem do PQAR de Ozônio	53
Gráfico 8.2 Distribuição percentual da qualidade do ar para O <sub>3</sub> na região metropolitana de São Paulo	53

**LISTA DE TABELAS**

Tabela 1. Porcentagem da destinação final dos resíduos sólidos nos municípios de São Paulo	15
Tabela 2.1 Padrões nacionais da qualidade do ar	41
Tabela 2.2 Fatores Tóxicos Equivalentes (TEF's) para PCDD/PCDF	41
Tabela 3. Energia Final e energia Útil do setor de eletricidade	58
Tabela 4. Produção Municipal de metano a partir de biogás de aterro	60
Tabela 5. Composição do RSU – Poder Calorífico Inferior	60
Tabela 6. Quantificação dos impactos ambientais de um aterro e de uma Unidade de Recuperação de Energia	61
Tabela 7. Quantificação de emissões anuais de URE e aterro sanitário com capacidade de 1.200t/dia	62
Tabela 8. Tabela comparativa: Aterro Sanitário X Incineração	63
Tabela 9. Quantidade Total (em toneladas) de Resíduos Sólidos Urbanos Coletados por Ano em São José dos Campos e Destinados ao Aterro Sanitário	70
Tabela 10. Taxa de conversão de resíduos sólidos urbanos em Energia.	74

## LISTA DE CARTOGRAMAS

Cartograma 1.1 Destinação final dos resíduos sólidos domiciliares e/ou públicos	16
Cartograma 1.2 Destinação de resíduos urbanos	17
Cartograma 2. Atlas de Bioenergia do Brasil	59
Cartograma 3.1 Mapa de localização do aterro Torrão de Ouro	69
Cartograma 3.2 Planta Detalhada da Estação de Tratamento de Resíduos Sólidos	71
Cartograma 3.3 Demonstração da área total de implantação do projeto	71

## LISTA DE FLUXOGRAMAS

Fluxograma 1. NBR 100004: classificação de resíduos	25
Fluxograma 2. Estudo epidemiológico do Material Particulado	47
Fluxograma 3. Origem e destino dos RSU de São José dos Campos	72
Fluxograma 4. Taxa de conversão dos resíduos sólidos urbanos em energia	73
Fluxograma 5. Tratamento dos resíduos sólidos urbanos	74
Fluxograma 6. Processo de maximização da Geração de Biogás	76

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	15
2. RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS.....	20
2.1 Definição e classificação.....	20
2.1.1 Classificação dos Resíduos de Classe I.....	21
2.1.2 Classificação dos Resíduos de Classe II.....	24
2.2 Armazenamento de Resíduos.....	25
2.3 Transporte de resíduos.....	26
2.4 Tratamento dos resíduos.....	26
2.4.1 Reciclagem.....	26
2.4.1.1 Logística Reversa.....	26
2.4.1.2 Reduzir.....	27
2.4.1.3 Reutilizar.....	28
2.4.1.4 Reciclar.....	28
2.4.1.4.1 O comércio informal do lixo.....	29
2.4.1.4.2 Cooperativas.....	31
2.4.2 Compostagem.....	31
2.4.3 Biogás.....	34
2.4.4 Tratamento Mecânico Biológico.....	35
2.4.5 Incineração.....	38
2.4.5.1 Poluentes atmosféricos.....	40
2.4.5.1.1 Material Particulado.....	42
2.4.5.1.2 Dióxido de Enxofre .....	47
2.4.5.1.3 Monóxido de Carbono.....	49
2.4.5.1.4 Dióxido de Nitrogênio.....	51
2.4.5.1.5 Ozônio.....	52
2.4.5.1.6 Dioxinas e Furanos.....	54
2.4.6 Geração de Energia.....	55
2.4.6.1 Balanço Energético.....	58
2.5 Disposição final dos resíduos.....	63
2.5.1 Aterro Sanitário.....	65
2.5.2 Aterro Controlado.....	65
2.5.3 Lixão.....	66
3. ESTUDO DE CASO: ATERRO SANITÁRIO SÃO JOSÉ DOS CAMPOS.....	68
3.1 Estudo do Aterro Sanitário.....	69
3.2 Coleta de Resíduos Sólidos Urbanos.....	72
3.3 Tratamento dos Resíduos Sólidos Urbanos.....	73
3.3.1 Pré-processamento (Reciclagem).....	75

3.3.2 Biodigestão (Digestão Anaeróbica).....	76
3.3.3 Incineração (Combustão).....	78
3.4 Geração, Distribuição e comercialização de Energia Elétrica.....	80
3.5 Estudo de viabilidade técnica.....	81
3.6 Estudo de viabilidade sócio-ambiental.....	82
4. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	84

#### REFERÊNCIAS

#### ANEXOS

ANEXO A – Legislação PNMA (poluição do ar)

ANEXO B - Resolução CONAMA nº 404 de 2008

## 1. INTRODUÇÃO

Há algum tempo atrás, nas comunidades nômades, a relação do homem com a natureza era bastante distinta da atual. Sem se fixar na terra, quando suas atividades extrativistas retiravam do local todo o suprimento necessário à sua sobrevivência, eles simplesmente se mudavam; possibilitando assim a renovação da natureza. Como o homem só retirava da natureza o necessário à sua sobrevivência, a relação de dependência direta da natureza era maior. (TUPIASSÚ *et al*, 2009)

Houve, porém, um tempo na história onde o homem aprendeu a plantar. Desde então, ele percebeu que não precisaria mais mudar de local toda vez que um recurso se esgotasse. Desta maneira o homem nômade passa a se fixar no solo e descobre que, além de produzir o necessário a sua alimentação e sobrevivência, ele poderia também acumular riquezas. Deste período surge uma nova visão: uma natureza totalmente domesticável que deveria servir ao homem de forma infinita (TUPIASSÚ *et al*, 2009).

Este novo ângulo levou a humanidade aos atuais problemas com o meio ambiente. Um dos mais preocupantes é a destinação final dos resíduos sólidos urbanos; pois o crescimento da população brasileira ao longo dos anos não foi planejado, o que desencadeou um déficit no manejo do lixo e, conseqüentemente, a disposição irregular do mesmo e os atuais problemas no setor de saúde pública.

Segundo a última Pesquisa Nacional de Saneamento Básico (PNSB, 2008) do IBGE, a população brasileira gera diariamente 161.084 mil toneladas de resíduos sólidos urbanos (RSU) em seus 645 municípios; sendo que, 50,8% destes municípios ainda encaminham seus resíduos para lixões (vazadouro a céu aberto), 22,5% para aterros controlados e 27,7 % para aterros sanitários.

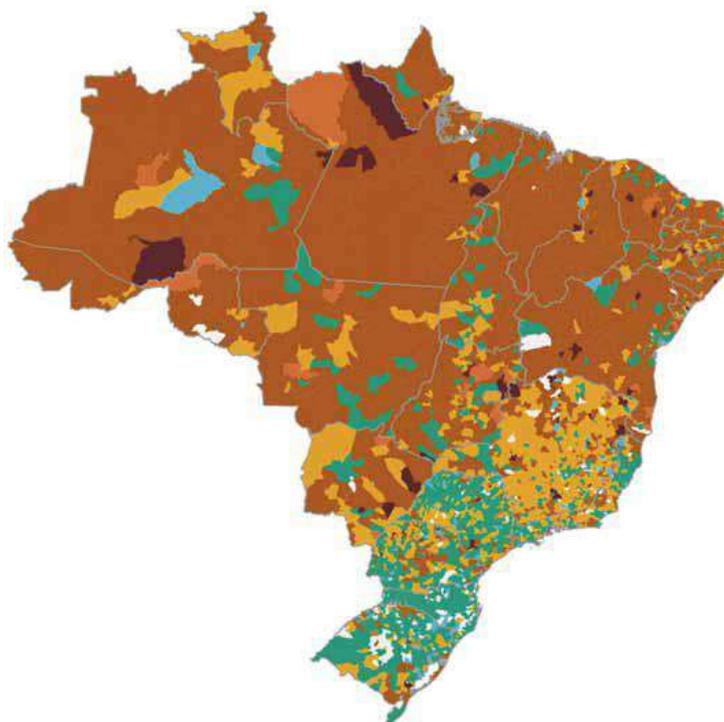
TABELA 1 - Porcentagem da destinação final dos resíduos sólidos nos municípios de São Paulo.

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, IBGE, 2008.

De acordo com a Tabela 1, a porcentagem de lixões (vazadouros a céu aberto) no ano de 2008, se analisada de forma regional, resulta nos seguintes valores: 89,3% localizados na região nordeste; 85,5% na região norte; 18,7 % na região sudeste e 15,8 % na região sul.

Estes dados demonstram que as regiões sudeste e sul são aquelas que mais investem em aterros sanitários e controlados, enquanto as regiões norte e nordeste ainda se encontram na fase primária, dispondo seus resíduos sólidos em lixões, quase na sua totalidade (PNSB, 2008). O Cartograma 1, ilustra melhor os dados expostos anteriormente. Após análise destes dados podemos perceber que, apesar dos números ainda serem alarmantes, houve um avanço em todos os setores mencionados.



Destinação final dos resíduos sólidos domiciliares e/ou públicos

- Aterro controlado e aterro sanitário
- Aterro sanitário
- Aterro controlado
- Vazadouro a céu aberto (lixão) e aterro sanitário
- Vazadouro a céu aberto (lixão) e aterro controlado
- Vazadouro a céu aberto (lixão), aterro controlado e aterro sanitário
- Vazadouro a céu aberto (lixão)



## **CARTOGRAMA 1.2. Destinação de resíduos urbanos.**

Fonte: CETESB (São Paulo), Inventário de resíduos sólidos domiciliares, 2010.

Observando o histórico, conclui-se que a preocupação com a destinação final dos resíduos é relativamente nova, visto que nas décadas de 70 e 80, poucos foram os municípios brasileiros que conseguiram implantar soluções para tratar e destinar corretamente seus resíduos sólidos em seus territórios. E, ainda na década de 90, apesar de haver melhorias em algumas regiões do Brasil, como a desativação de diversos lixões e a conseqüente implantação de aterros controlados ou sanitários, as medidas tomadas ainda deixavam a desejar visto que o aterro ainda não possuía os equipamentos necessários para tratar e aproveitar os resíduos, sendo assim mais uma forma de estocagem do que uma destinação final correta que solucionaria o problema.

A partir de 2008 é que a situação começou a melhorar, com a criação de novos aterros e a diminuição da destinação de resíduos aos lixões. Todavia, nos deparamos atualmente com o aumento da quantidade per capita de resíduos, causada principalmente pelas mudanças no padrão de consumo. Esta, aliada ao começo da escassez de áreas disponíveis para implantação de novos aterros e ao comprometimento da vida útil dos aterros já existentes gera um dos problemas mais polêmicos da atualidade: O que fazer com o lixo? Reciclar? Compostar? Gerar biogás? Incinerar? Aterrar? Qual a melhor alternativa tecnológica para o tratamento do lixo?

Como auxílio ao direcionando destas questões surge a Lei nº 12.305/10, que instituiu a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), demarcando assim o início de uma articulação institucional entre o governo (União, Estado e Município), o setor produtivo e a sociedade. Seu principal instrumento, o Plano Nacional de Resíduos Sólidos, nasce para estabelecer limite temporal (prazo) para a eliminação dos lixões, tornando a disposição final dos rejeitos ambientalmente adequada. Este prazo se estende até 2014. (PNRS, 2011)

O presente trabalho foi desenvolvido com o intuito de apresentar todas as alternativas disponíveis para o tratamento do lixo, desde a minimização de sua geração até a destinação eficaz de todos os resíduos produzidos e demonstrar quais técnicas seriam mais eficazes à realidade do estudo de caso utilizado para ilustração deste trabalho.

A presente dissertação é composta de três capítulos. O primeiro contextualiza a atual problemática da falta de dimensão para a disposição final dos

resíduos sólidos urbanos. O segundo define, classifica e apresenta alternativas para o tratamento e a destinação final dos resíduos sólidos urbanos; E o terceiro traz um estudo de caso para elucidar os tópicos anteriores. As considerações finais do trabalho e as recomendações para desenvolvimento de novos estudos são apresentadas na sequência.

## **2. RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS (RSU)**

A geração de resíduos sólidos urbanos no estado de São Paulo progride em escala geométrica, associada ao crescimento populacional e à atividade econômica, enquanto as alternativas para a sua disposição final avançam em escala aritmética, em ritmo bastante lento frente a sua geração, o que vem acarretando vários problemas ao ambiente e à saúde pública.

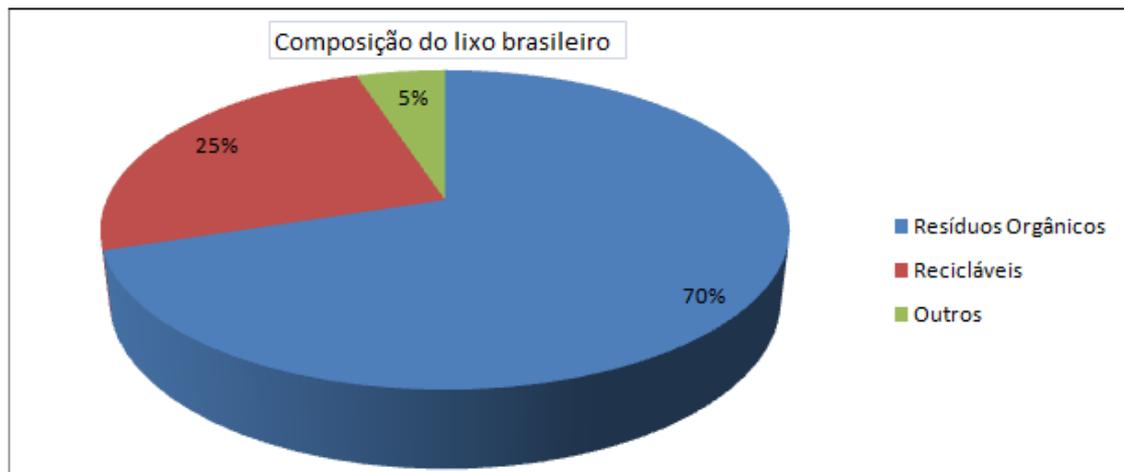
Entretanto, para direcionar o estudo para algum método de tratamento e disposição final destes resíduos, é necessário compreender antes o que eles representam e como são classificados.

### **2.1 Definição e Classificação**

De acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, NBR 10004): “Resíduos no estado sólido são aqueles resultantes de atividade de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes de estações de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos de água, ou exijam para isso soluções técnicas e economicamente inviáveis em face à melhor tecnologia disponível.”.

Neste trabalho as principais fontes de resíduos sólidos que serão apresentadas são: domiciliar, comercial, público e industrial.

Estima-se que os resíduos domiciliares gerados pelos cidadãos brasileiros chegam a cerca de 1 à 1,5 kg por hab/dia e são compostos, em sua maioria, por resíduos orgânicos; Os resíduos comerciais possuem composição de acordo com o tipo de comércio gerador mas, em sua maioria, são compostos de papel; O resíduo público é o gerado por serviços da própria prefeitura, tal como poda de árvores, varrição de ruas e feiras livres (resíduos orgânicos e recicláveis); O resíduo industrial pode ser de diversos tipos, de acordo com a atividade da indústria, sendo a fonte mais comum de resíduos perigosos. (PNRS, 2011) O gráfico abaixo ilustra a porcentagem setorizada dos resíduos orgânicos e recicláveis gerados pela população brasileira.



**GRÁFICO 2. Composição do lixo brasileiro.**  
 Fonte: Autoria própria baseada em KIEHL, 2002.

A caracterização dos resíduos envolve a identificação do processo ou atividade que lhes deu origem, bem como seus constituintes e características. A partir desta identificação criteriosa, se compara estes constituintes à listagens de resíduos e substâncias, para avaliar seu impacto à saúde e ao meio ambiente. (ABNT, NBR 10004)

A característica apresentada por um resíduo que, em função de suas propriedades físicas, químicas ou infecto-contagiosas, pode apresentar risco à saúde pública ou ao meio ambiente é denominada periculosidade. (ABNT, NBR 10004)

De acordo com a periculosidade, dividimos os resíduos em duas classes:

- a) resíduos classe I - Perigosos;
- b) resíduos classe II – Não perigosos (subdividido em IIA não inertes e IIB inertes).

### **2.1.1 Classificação dos Resíduos de Classe I (Perigosos)**

Os resíduos perigosos são classificados de acordo com suas propriedades físico-químicas (Inflamabilidade, Corrosividade, Reatividade, Toxicidade e Patogenicidade) capazes de afetar a saúde ambiental e humana.

Basicamente provenientes das indústrias, são resíduos que normalmente contém produtos químicos que agredem o meio ambiente de forma dura e rápida, com certeza, os resíduos mais perigosos. Ex. Borra de Tinta, óleos minerais e lubrificantes, resíduos com thinner, resíduos de sais provenientes de tratamento térmico de metais.

- Inflamabilidade (capacidade de gerar fogo):

a) ser líquida e ter ponto de fulgor inferior a 60°C, determinado conforme ABNT NBR 14.598 ou equivalente, excetuando-se as soluções aquosas com menos de 24% de álcool em volume;

b) não ser líquida e ser capaz de, sob condições de temperatura e pressão de 25°C e 1atm, produzir fogo por fricção, absorção de umidade ou por alterações químicas espontâneas e, quando inflamada, queimar vigorosa e persistentemente, dificultando a extinção do fogo;

c) ser um oxidante definido como substância que pode liberar oxigênio e, como resultado, estimular a combustão e aumentar a intensidade do fogo em outro material;

d) ser um gás comprimido inflamável, conforme a Legislação Federal sobre transporte de produtos perigosos (Portaria nº 204/1997 do Ministério dos Transportes).

- Corrosividade (capacidade de consumir progressivamente):

a) ser aquosa e apresentar pH inferior ou igual a 2, ou, superior ou igual a 12,5, ou sua mistura com água, na proporção de 1:1 em peso, produzir uma solução que apresente pH inferior a 2 ou superior ou igual a 12,5;

b) ser líquida ou, quando misturada em peso equivalente de água, produzir um líquido e corroer o aço (COPANT 1020) a uma razão maior que 6,35 mm ao ano, a uma temperatura de 55°C, de acordo com USEPA SW 846 ou equivalente.

- Reatividade (capacidade de exercer reação):

a) ser normalmente instável e reagir de forma violenta e imediata, sem detonar;

b) reagir violentamente com a água;

c) formar misturas potencialmente explosivas com a água;

d) gerar gases, vapores e fumos tóxicos em quantidades suficientes para provocar danos à saúde pública ou ao meio ambiente, quando misturados com a água;

e) possuir em sua constituição os íons CN<sup>-</sup> ou S<sub>2</sub><sup>-</sup> em concentrações que ultrapassem os limites de 250 mg de HCN liberável por quilograma de resíduo ou 500 mg de H<sub>2</sub>S liberável por quilograma de resíduo, de acordo com ensaio estabelecido no USEPA - SW 846;

f) ser capaz de produzir reação explosiva ou detonante sob a ação de forte estímulo, ação catalítica ou temperatura em ambientes confinados;

g) ser capaz de produzir, prontamente, reação ou decomposição detonante ou explosiva a 25°C e 1 atm;

h) ser explosivo, definido como uma substância fabricada para produzir um resultado prático, através de explosão ou efeito pirotécnico, esteja ou não esta substância contida em dispositivo preparado para este fim.

- Toxicidade (capacidade de provocar efeito adverso (carcinogênico, mutagênico, teratogênico, ecotoxicológico) em consequência de sua interação com o organismo seja por inalação, ingestão ou absorção cutânea):

a) quando o extrato obtido desta amostra, segundo a ABNT NBR 10.005, contiver qualquer um dos contaminantes em concentrações superiores aos valores determinados pela legislação vigente. Neste caso, o resíduo deve ser caracterizado como tóxico com base no ensaio de lixiviação;

b) apresentar toxicidade. Para avaliação dessa toxicidade, devem ser considerados os seguintes fatores:

- ✓ Natureza da toxicidade apresentada pelo resíduo;
- ✓ Concentração do constituinte no resíduo;
- ✓ Potencial que o constituinte, ou qualquer produto tóxico de sua degradação, detém para migrar do resíduo para o ambiente, sob condições impróprias de manuseio;

- ✓ Persistência do constituinte ou qualquer produto tóxico de sua degradação;

- ✓ Potencial que o constituinte, ou qualquer produto tóxico de sua degradação, tem para degradar-se em constituintes não perigosos, considerando a velocidade em que ocorre a degradação;

- ✓ Extensão em que o constituinte, ou qualquer produto tóxico de sua degradação, é capaz de bioacumulação nos ecossistemas;

- ✓ Efeito nocivo pela presença de agente teratogênico, mutagênico, carcinogênico ou ecotóxico, associado à substâncias de forma isolada ou decorrente do sinergismo entre as substâncias constituintes do resíduo;

c) ser constituída por restos de embalagens contaminadas;

d) resultar de derramamentos ou de produtos fora de especificação ou do prazo de validade;

e) ser comprovadamente letal ao homem;

f) possuir substância em concentração comprovadamente letal ao homem; ou estudos do resíduo que demonstrem uma  $DL_{50}$  oral para ratos menor que 50 mg/kg; ou

CL<sub>50</sub> inalada para ratos menor que 2 mg/L; ou uma DL<sub>50</sub> dérmica para coelhos menor que 200 mg/kg.

### 2.1.2 Classificação dos Resíduos de Classe II (Não Perigosos)

Os resíduos não perigosos são aqueles não apresentam risco à saúde humana e ambiental. São subdivididos em resíduos inertes (IIA) e não inertes (IIB).

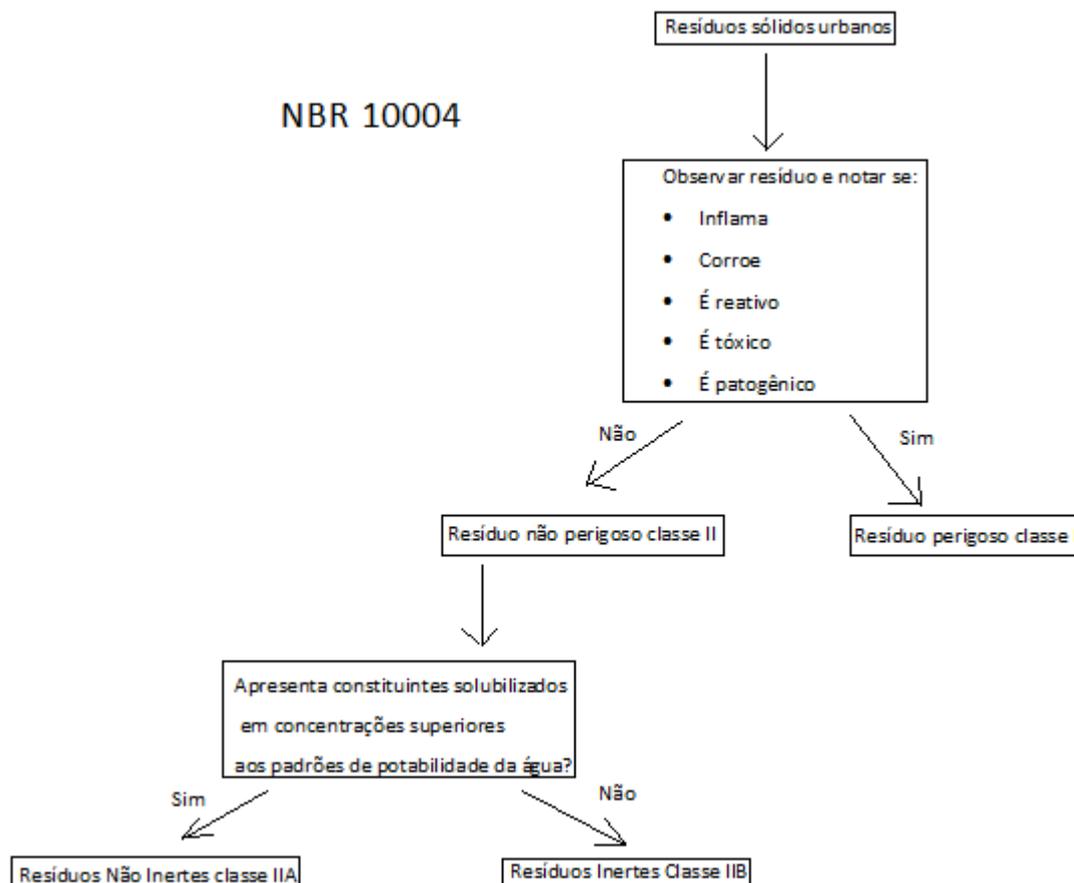
- Sub-divisão IIA (Não Inertes)

Quaisquer resíduos que, quando amostrados de uma forma representativa, segundo a ABNT NBR 10.007, e submetidos a um contato dinâmico e estático com água destilada ou deionizada, à temperatura ambiente, conforme ABNT NBR 10.006, não apresentarem nenhum constituinte solubilizado a concentrações superiores aos padrões de potabilidade de água, excetuando-se aspecto, cor, turbidez, dureza e sabor; ou seja, são resíduos que, com o passar do tempo, sofrem algum tipo de mudança ou decomposição. Como exemplo destes resíduos, temos: papel, materiais orgânicos, lamas de sistemas de tratamento de águas, resíduos provenientes de limpeza de caldeiras e lodos provenientes de filtros - prensas.

- Sub-divisão IIB (Inertes)

Quaisquer resíduos que, quando amostrados de uma forma representativa, segundo a ABNT NBR 10.007, e submetidos a um contato dinâmico e estático com água destilada ou deionizada, à temperatura ambiente, conforme ABNT NBR 10.006, apresentarem constituintes solubilizados a concentrações superiores aos padrões de potabilidade de água; ou seja, são resíduos que não sofrem qualquer tipo de alteração em sua composição com o passar do tempo. Como exemplo destes resíduos, temos: entulhos, sucata de ferro e aço.

O fluxograma 1 abaixo demonstra a classificação dos resíduos, de acordo com a NBR10.004.



**FLUXOGRAMA 1. NBR 10004: Classificação de resíduos.**

Fonte: Autoria Própria.

## 2.2 Armazenamento de Resíduos

Segundo a NBR 11.174 , a contenção temporária de resíduos, em área autorizada pelo órgão de controle ambiental, à espera da reciclagem, recuperação, tratamento ou disposição final adequada, é conceituada como armazenamento de resíduos. (ABNT, NBR 11.174)

O armazenamento deve ser feito de modo a não alterar a quantidade e qualidade do resíduo. O local escolhido para armazenamento tem de estar de acordo com o zoneamento da região e tem de ser aceito pela população. No caso de São José dos Campos, a própria Estação de Tratamento de Resíduos sólidos (ETRS), onde também funciona o aterro, foi escolhida como lugar de armazenamento temporário dos resíduos. Este armazenamento é realizado para que o fluxo de resíduos sólidos circulantes no sistema seja constante, mesmo em feriados e dias não úteis. (ABNT, NBR 11.174)

### **2.3 Transporte de Resíduos**

O transporte deve ser realizado por meio de equipamentos conservados. Os resíduos devem estar protegidos das intempéries.

Em são José dos Campos, o transporte dos resíduos já tratados para a disposição final, é realizado internamente pelos mesmos funcionários que atuam no tratamento dos resíduos, pois o aterro é dentro da estação de tratamento de resíduos sólidos.

### **2.4 Tratamento de Resíduos**

Contemporaneamente com o nascimento da Política Nacional de Resíduos Sólidos surge a necessidade de geri-los. Para isto a mudança de paradigma do meio ambiente de objeto para parte essencial do nosso ciclo de vida é necessária e a partir desta nova visão de vida ocorre o replanejamento de todo o processo produtivo, desde a geração até a disposição final.

Neste trabalho, como opções de tratamento de resíduos são apresentadas a reciclagem, a compostagem, o biogás, a incineração e o aterro.

#### **2.4.1 Reciclagem**

Quando a logística convencional é analisada de forma criteriosa, compreende-se que há necessidade de replanejamento deste processo, pois esta produção se fundamenta no crescimento do poder de consumo a partir da fabricação de produtos cada vez mais descartáveis, que em pouco tempo, perdem sua vida útil e são direcionados retilineamente a destinação final, que, na maioria das vezes é desprovida de qualquer tratamento. (FIGUEIREDO, 2002)

Surge então uma alternativa a este processo convencional: a logística reversa.

##### **2.4.1.1 Logística Reversa**

A logística reversa consiste na criação de uma mão reversa ao fluxo convencional, transformando a trajetória retilínea da logística convencional em um ciclo

circular e “verde”. Quando bem estruturada, é capaz de gerar lucros para as empresas que a aplicarem em seu sistema de produção Pós-Consumo. (FIGUEIREDO, 2002; MUELLER, 2005)

Atualmente os produtos verdes tem alcançado uma maior parcela dos consumidores calcados na preocupação ambiental com a destinação final dos resíduos. A restrição dos terrenos utilizados como aterros sanitários, aliada ao constante aumento das emissões de poluentes, inclusive nos países mais desenvolvidos, gera polêmicas discussões em âmbito mundial. Esta preocupação se reflete nas empresas e indústrias, que são responsabilizadas pelo aumento destes resíduos. E é pensando nestes fatores que surgem políticas de processos que contribuam para um desenvolvimento sustentável. A logística reversa de pós-consumo vem trazendo o conceito de se administrar não somente a entrega do produto ao cliente, mas também o seu retorno, direcionando-o para ser descartado ou reutilizado. (FIGUEIREDO, 2002; MUELLER, 2005)

Em uma visão estratégica, a preocupação com a reutilização das embalagens fica por conta do aumento da confiança do cliente, que tende a preferir uma empresa que se preocupe com o meio ambiente e re-utilize as embalagens de seus produtos à uma empresa baseada na logística convencional. (MUELLER, 2005)

Para sucesso da logística reversa é essencial o engajamento da população, sendo necessário um trabalho estruturado de educação ambiental que destaque a real importância do assunto. Partindo do pressuposto de mudança de hábitos e significados, não se pode mais encarar o lixo como “resto sem valor ou inútil”, há que se transformar esse material em uma nova matéria-prima para retornar ao ciclo de onde saíram, levando essa concepção reformulada a impor respeito frente a questões sociais. (OLIVEIRA, 2006)

#### **2.4.1.2 Reduzir**

A redução da quantidade de resíduos gerados está intimamente ligada à mudança de hábitos de consumo. Esta mudança não necessariamente está ligada a quantidade de consumo e sim a gama de critérios utilizados para selecionar os produtos que realmente precisamos e gostamos. A substituição do uso de materiais descartáveis por produtos mais duráveis, por exemplo, é uma maneira de poupar materiais e reduzir

resíduos. (EPA, 2004) Como auxílio à redução de resíduos gerados surge à reutilização de materiais.

#### **2.4.1.3 Reutilizar**

A reutilização de produtos consiste em aliar a logística reversa com o consumo consciente em prol do prolongamento da vida útil dos produtos e da redução da fabricação de novas mercadorias. (EPA, 2004)

Um processo complementar a reutilização de produtos é a reciclagem.

#### **2.4.1.4 Reciclar**

A reciclagem pode ser definida como o processo de reaproveitamento dos resíduos, na qual os materiais são submetidos a uma série de técnicas sendo transformados novamente em matéria-prima. (GALBIATI, 2005) Conhecer o seu significado é essencial para interagir e colocar em prática o seu contexto, assim, aceitar a reciclagem significa ostentar um novo comportamento diante do ambiente, preservando-o o máximo possível. Além de reduzir os resíduos urbanos, a reciclagem permite o prolongamento da vida útil de aterros e aumenta a oportunidade de geração de empregos para os catadores. (ALENCAR, 2005)

Como vantagens, a reciclagem apresenta a minimização de resíduos para disposição final, o aumento de vida útil do aterro, a melhoria das condições de saúde da população, a redução dos impactos ambientais e a economia de recursos naturais e energéticos. Para que o mercado de reciclagem seja mais oponente, é necessário o apoio governamental na forma de incentivos fiscais, tanto às indústrias que se utilizam da logística reversa para beneficiarem seus consumidores e criarem uma “imagem verde”, quanto às empresas que realizam a coleta seletiva, até podendo se estender aos consumidores que se dedicam a fazer a separação dos seus resíduos em casa e já direcionam a coleta aos setores responsáveis. (RUSSO, 2003)

O primeiro passo de recuperação do material selecionado para a reciclagem é a coleta seletiva. Esta pode ser definida como a coleta de recicláveis presentes nos resíduos sólidos urbanos e posterior direcionamento ao setor público responsável por

este tipo de coleta, postos de entrega voluntária, postos de troca ou catadores de lixo. (BRINGHENTI, 2004)

#### **2.4.1.4.1 O Comércio Informal do Lixo**

Os catadores de lixo representam a um setor informal da sociedade que, de acordo com a Pesquisa Nacional de Saneamento Básico de 2008, do IBGE, pode ser definido como sendo

[...] uma profissão exercida, basicamente, por pessoas de um segmento social marginalizado pelo mercado de trabalho formal, que têm na coleta de materiais recolhidos nos vazadouros ou aterros uma fonte de renda que lhes garante a sobrevivência. Contudo, não se tem conhecimento, dentro da escala de valores das categorias profissionais, de nenhuma outra atividade que seja tão estigmatizada e desprestigiada socialmente como o trabalho dos catadores.

(PNSB, 2008, IBGE, pg. 62, parágrafo 2).

A partir desta definição, pode ser notado nos periódicos de São José dos Campos (jornal “O Vale”) um relato deste comércio informal contendo, como exemplificação de caso, a estrutura de uma pirâmide. (MANOUKIAN, 2011)

Na base da pirâmide, estão os catadores que passam o dia inteiro coletando material, ganhando em média R\$ 600,00 mensais por este trabalho. É citada como exemplo, a Sra. Iracema Nogueira Menezes, catadora de lixo (figura 4), que se expõe a vários riscos de infecções e doenças por não possuir condição mínima de higiene, necessária para quem trabalha neste segmento. (MANOUKIAN, 2011)

Em um patamar acima, estão os revendedores de recicláveis, que ganham cerca de R\$ 2.000 mensais. Na matéria é citada a Sra. Elisabeth Araújo Costa, que há 10 anos passou a comprar recicláveis da Sra. Iracema e de outros catadores para revender. (MANOUKIAN, 2011)

Acima destes revendedores estão as cooperativas de lixo, pequenas indústrias que compram o material reciclável dos revendedores para triturar, derreter e preparar o material obtido para retornar às grandes empresas. Estas cooperativas possuem o lucro mínimo de R\$ 30 mil mensais. (MANOUKIAN, 2011)



A catadora de lixo reciclável Iracema Nogueira Menezes separa lixo que coletou na laje de sua casa

**FIGURA 1. Armazenamento do lixo coletado durante o dia.**  
 Fonte: Jornal O VALE, 21/08/2011. Foto tirada por Thiago Leon.

No topo da pirâmide estão as empresas responsáveis por gerarem tal lixo. Essas empresas compram o lixo tratado pelas cooperativas e o transformam em novos produtos manufaturados para o mercado. É conhecido que o mercado da sucata movimenta R\$200.000,00 por dia. Tal rentabilidade é fundamentada no preço pago em latas de alumínio (R\$ 2,50/kg), plástico (R\$ 0,30/kg) e metal (R\$8,00/kg). (MANOUKIAN, 2011)

No mesmo jornal, é informado que a cadeia informal de catadores de lixo de São José dos Campos, que recolhe diariamente, 99 toneladas de lixo reciclável das ruas, representa mais que o dobro do que é apanhando pela coleta seletiva da URBAM (Urbanizadora Municipal), que recolhe 46 toneladas por dia. (MANOUKIAN, 2011)

O diretor presidente da URBAM, Alfredo de Freitas, em resposta aos números apresentados pelo jornal “O Vale”, comunicou à imprensa que a URBAM não realiza coleta seletiva no centro da cidade justamente para estimular o desenvolvimento deste mercado informal de catadores. Salientou ainda que existem 293 locais de coleta e processamento de lixo reciclável em São José dos Campos e que existem 1.450

catadores informais na cidade. Acrescentou que este mercado paralelo apresenta a capacidade de gerar desde uma renda mínima a famílias carentes até possibilitar o crescimento das envolvidas neste mercado; devendo ser mantido mesmo após a instalação da usina termoeletrica no município. (MANOUKIAN, 2011)

A situação registrada acima ilustra a vida de catadores autônomos, porém em contrapartida a estes catadores existem as cooperativas, que atuam de forma mais justa neste mesmo segmento social. (MANOUKIAN, 2011)

#### **2.4.1.4.2 Cooperativas**

As cooperativas de catadores de lixo são criadas com o intuito de organizar os catadores em prol de melhores condições de trabalho podendo desenvolver diferentes ações que possibilitem a competitividade e melhor negociação de preços (unidos os catadores aumentam o volume de materiais recicláveis recolhidos e podem conseguir um preço melhor por eles). Este processo garante duas vantagens aos catadores: não depender apenas de um comprador que possua sempre a mesma demanda fixa pelo mesmo preço médio e poder estocar o material recolhido por um maior período, proporcionando uma melhor condição de limpeza e classificação que, por sua vez, garantem preços melhores de venda. (MEDEIROS e MACEDO, 2006)

A valorização do trabalho dos catadores veio através das cooperativas que se organizaram e reivindicaram, com êxito, linhas de crédito com o Banco Nacional do Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES), Petrobras, Fundação Banco do Brasil e Caixa Econômica. Assim como as linhas de crédito, as cooperativas também já alcançaram, em algumas prefeituras (Diadema, Araraquara, São José do Rio Preto, entre outras) a folha de pagamento por serviços ambientais. Se faz necessário destacar que a Prefeitura de São Paulo não está inclusa nesta conquista das cooperativas. (SANTOS e GONÇALVES-DIAS, 2012)

#### **2.4.2 Compostagem**

A compostagem caracteriza-se pelo processo de reciclagem da matéria orgânica presente nos resíduos sólidos urbanos. É composta por um processo aeróbio controlado, em que diversos microrganismos são responsáveis por transformações bioquímicas na massa

dos resíduos resultando na geração do húmus (composto fertilizante). (RUSSO, 2003) Fazem parte deste controle anaeróbio: a proporção correta de resíduos entre as camadas, a oxigenação, o controle da temperatura, da umidade e do pH. (CORTEZ, 2011)

O processo de compostagem é iniciado com a construção da leira, que é a sobreposição dos resíduos orgânicos em alternância de camadas (resíduos verdes e marrons) com espessura em torno de 20 cm. A proporção correta de resíduos verdes (capim verde, restos de comida) e marrons (pó de café, serragem, plantas secas) é essencial para que a biodegradação dos resíduos orgânicos seja feita de forma completa e eficaz, garantindo a qualidade do composto a ser formado (húmus). (RUSSO, 2003; OLIVEIRA, 2006; TUPIASSÚ *et al*, 2009)

A oxigenação da leira é feita através de respiradouros (tubos com vários orifícios) inseridos no meio da pilha. A função dos respiradouros é permitir a entrada de ar (evitando assim o aquecimento demasiado da leira) e assentir a liberação de metano para a atmosfera. Caso esta liberação não fosse concedida, a leira poderia pegar fogo devido à alta temperatura (60° no início e 40° quando estabilizada), a falta de circulação de ar e a presença de um gás inflamável. Outro fator que auxilia o controle da temperatura é a irrigação constante da leira, que deve ser realizada a cada sobreposição de camada e, sempre que for verificado um aumento de temperatura no sistema (que deve ser checado continuamente). (RUSSO, 2003; OLIVEIRA, 2006; TUPIASSÚ *et al*, 2009; CORTEZ, 2011)

O pH ideal deve ser almejado neste processo, pois é através dele que os microrganismos se sentirão em um ambiente propício ao desenvolvimento de suas atividades. Para alcançar esta meta é simples, basta respeitar tudo o que foi descrito anteriormente: temperatura controlada, irrigação constante, boa oxigenação, compatibilidade de resíduos verdes e marrons entre as camadas. (CORTEZ, 2011)

A leira deve ter de 1,2 a 1,5 m de altura, 1,5 a 2 m de largura e comprimento de 2 a 4 m. Mas essas dimensões podem ser alteradas de acordo com o espaço disponível, respeitando a área mínima de 1m<sup>3</sup>. Quando o processo é realizado de forma correta, a fase de maturação ocorre de 25 a 30 dias e o composto (húmus) fica pronto em 90 dias. É importante lembrar que, neste período de 90 dias, as leiras devem ser reviradas (o topo vira base e a base vira o topo) três vezes para que toda ela tenha sido decomposta e transformada em húmus. (TUPIASSÚ *et al*, 2009)

O tempo que o processo pode levar depende do tipo de resíduos orgânicos utilizados. Intercalar camadas com esterco de qualquer animal é muito interessante, pois o mesmo funciona como inóculo de microrganismos e o processo tende a ser muito mais rápido. Porém, há uma ressalva quanto usar esterco de animais domésticos, pois eles são fontes de agentes patogênicos, devido à alimentação diferenciada destes com relação aos animais do campo. (TUPIASSÚ *et al*, 2009)

É um ciclo eficaz que promove a reutilização da fração deteriorável dos resíduos sólidos urbanos, transformando-os em composto orgânico (fertilizante agrícola) ótimo para a contenção de encostas e para o combate da erosão (RUSSO, 2003; CORTEZ, 2011), pois quando adicionado ao solo, melhora as suas características físicas, físico-químicas e biológicas e, conseqüentemente, observa-se maior eficiência dos adubos minerais aplicados às plantas, proporcionando mais vida ao solo, que apresenta produção por mais tempo e com mais qualidade. (OLIVEIRA, 2006, CORTEZ, 2011)

A técnica da compostagem foi desenvolvida com a finalidade de acelerar com qualidade a estabilização (também conhecida como humificação) da matéria orgânica. Na natureza a humificação ocorre sem prazo definido, dependendo das condições ambientais e da qualidade dos resíduos orgânicos. (OLIVEIRA, 2006)

A compostagem é um dos processos mais eficientes, pois apresenta custos relativamente baixos e gera um subproduto de alta qualidade que pode ser vendido em larga escala (húmus). Como contraponto, temos o fato de demorar cerca de 90 dias para o composto ficar pronto e a necessidade de uma área adequada para este processo. (TUPIASSÚ *et al*, 2009)



**FIGURA 2.1** Montagem de leira para compostagem.

Fonte: Embrapa Agrobiologia.



**FIGURA 2.2 Leira Pronta.**  
Fonte: Embrapa Agrobiologia.

### 2.4.3 Biogás

O biogás é formado a partir da degradação da matéria orgânica. Sua produção é possível a partir de uma grande variedade de resíduos orgânicos como os provenientes do lixo doméstico, de atividades agrícolas e pecuárias, da suinocultura, lodo de esgoto, entre outros. É composto por uma mistura gases como metano ( $\text{CH}_4$ ), gás carbônico ( $\text{CO}_2$ ), e em menor quantidade, hidrogênio ( $\text{H}_2$ ), nitrogênio ( $\text{N}_2$ ), gás sulfídrico ( $\text{H}_2\text{S}$ ), monóxido de carbono ( $\text{CO}$ ), amônia ( $\text{NH}_3$ ), oxigênio ( $\text{O}_2$ ) e aminas voláteis. Dependendo da eficiência do processo, o biogás chega a conter entre 40% e 80% de metano, de 15% a 55% de dióxido de carbono e 5% de outros gases. (PECORA, 2006)

O gás de maior interesse na formação do biogás é o gás metano, pois este gás é um agravante do efeito estufa e possui potencial de aquecimento global cerca de vinte e uma vezes maior quando comparado ao dióxido de carbono, sendo responsável por 20% do aquecimento global (EPA, 2008) merecendo, portanto, uma melhor destinação do que o simples lançamento na atmosfera.

É neste contexto que a conversão energética do biogás se apresenta como uma solução viável ao grande volume de metano produzido proveniente da decomposição orgânica de resíduos. (COSTA, 2002)

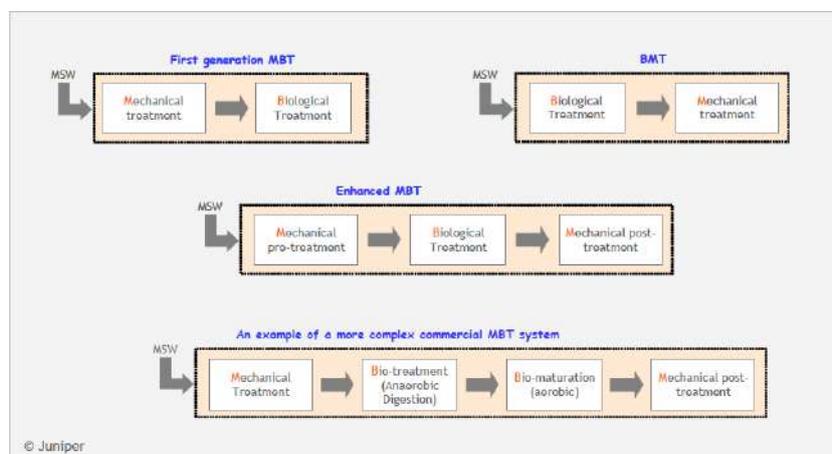
A digestão anaeróbica é o processo de fermentação bacteriana dos resíduos sólidos, responsável por liberar o gás metano. Nesta etapa, a parte úmida do lixo é decomposta e resulta na produção do biogás e de húmus (composto de valor comercial).

A avaliação da taxa de decomposição anaeróbica é realizada de acordo com a quantidade de biogás produzido e com a consequente redução de metano emitido para a atmosfera. Este método também evita a queima de quantidade equivalente de combustível fóssil, podendo ser igualmente utilizado para a geração de energia. Isto ocorre, por exemplo, quando o biogás obtido é queimado através de motores de combustão interna (quando há um local só para o armazenamento da parte orgânica dos resíduos sólidos urbanos) ou *flares* (quando são provenientes de aterro e possuem dutos de captação de gás metano e queima em *flares*). (PECORA, 2006)

Portanto, as vantagens da utilização do biogás para geração de energia elétrica são diretamente proporcionais às emissões evitadas de metano na atmosfera e na utilização de uma fonte renovável de energia ao invés das fontes convencionais (combustíveis fósseis que são finitos). (CENBIO, 2005)

#### 2.4.4 Tratamento Mecânico Biológico

O tratamento mecânico biológico (MBT) consiste em um método que se fundamenta na triagem mecânica do material recebido e na utilização de microorganismos vivos para estabilizar ou degradar contaminantes orgânicos e inorgânicos, utilizando os resíduos como fonte de energia e carbono (parte biológica do tratamento). Este método torna a fração residual menor, mais estável e mais adequada ao uso posterior. (FORMOSINHO *et al*, 2000; ARCHER *et al*, 2005) A ordem destes dois processos pode variar em uma série de combinações, como a figura 3.1 abaixo, ilustra:



**FIGURA 3.1 Tratamento Mecânico Biológico (MBT).**

Fonte: ARCHER *et al*, 2005.

A parte biológica do tratamento pode ser desenvolvida tanto em meio oxigenado como em meio sem oxigênio. No primeiro meio, o oxigênio é utilizado para transformar moléculas orgânicas complexas em anidrido carbônico, sais orgânicos e vapor de água. No segundo meio, a degradação dos resíduos orgânicos ocorre através de compostos de nitrato. (FORMOSINHO *et al*, 2000)

O uso da tecnologia MBT é de interesse de muitos pesquisadores, pois é capaz de prever impactos potenciais ao meio ambiente de acordo com o comportamento dos resíduos em aterros, incentivando o pré-tratamento em termos de redução de massa e estabilização do material antes de ser disposto, obtendo assim um valor adicional a partir da entrada de resíduos até à recuperação do material reciclável. (ARCHER *et al*, 2005; BAYARD *et al*, 2009)

O objetivo desta tecnologia como uma ferramenta de gestão de resíduos é minimizar o impacto ambiental associado à disposição final de resíduos biodegradáveis, obtendo assim um valor adicional pelos recicláveis, venda de composto e, em alguns casos biogás ou resíduos derivados de combustível. (ARCHER *et al*, 2005; BAYARD *et al*, 2009)

Dentre as inúmeras combinações de processos mecânicos e biológicos, há 8 opções genéricas mais representativas. Estas refletem os caminhos que podem ser utilizados para produzir uma variedade de alternativas. (ARCHER *et al*, 2005)

De acordo com a figura 3.2, podemos notar que o primeiro cenário apresentado reflete a bioestabilização residual, que consiste na utilização do método MBT como pré-tratamento dos resíduos e apresenta como finalidade a redução do volume e da biodegradabilidade do material tratado. (ARCHER *et al*, 2005)

Os próximos dois cenários demonstram a produção de combustível sólido recuperado (RDF - refused-derived fuel) e de combustível sólido específico recuperado (SRF - specific refused fuel). Ambos possuem o mesmo tratamento mecânico, porém diferem entre si no tratamento biológico. O RDF utiliza o tratamento biológico convencional, tendo como resultado o húmus; e o SRF utiliza o método de bio-secagem (variável da MBT), tendo como resultado um corretivo de solos de menor grau, porém um combustível que combina com os requisitos do mercado final. (ARCHER *et al*, 2005)

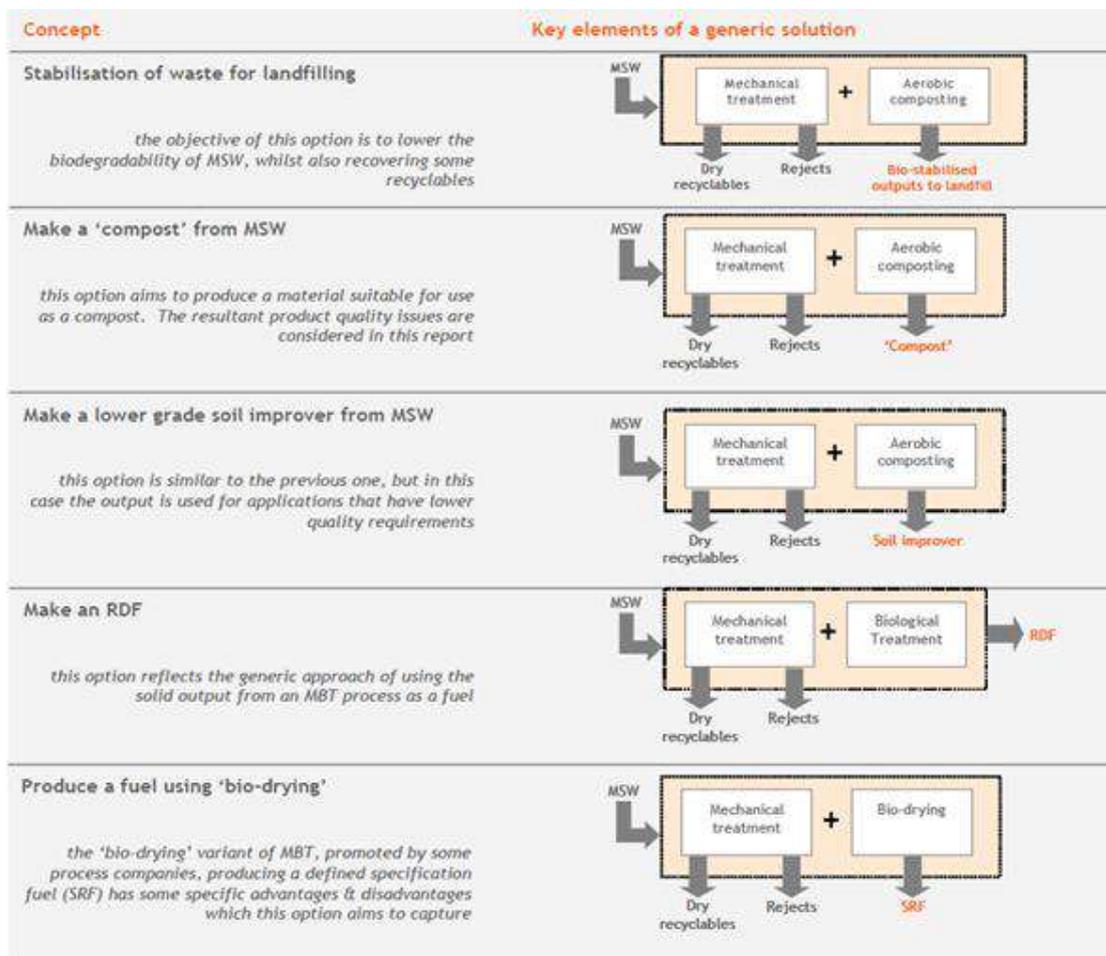
O quarto cenário contempla a integração do MBT com a unidade de processamento térmico de resíduos. O processo utilizado aqui é a gaseificação. Neste

processo, a substância orgânica, total ou parcialmente, é transformada em gases cujos componentes principais são: Monóxido de Carbono (CO); Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>); Hidrogênio (H<sub>2</sub>); e, dependendo das condições, Metano (CH<sub>4</sub>), Hidrocarbonetos light, Nitrogênio (N<sub>2</sub>) e vapor de água (H<sub>2</sub>O). (USHIMA, 2003; ARCHER *et al*, 2005; COELHO *et al*, 2006)

A gaseificação consiste na combustão incompleta da biomassa, que a transforma em gás combustível. Este gás é limpo no sistema de limpeza e segue para o flare ou motor gerador. O processo gera energia e apresenta como subproduto as cinzas. (USHIMA, 2003; COELHO *et al*, 2006)

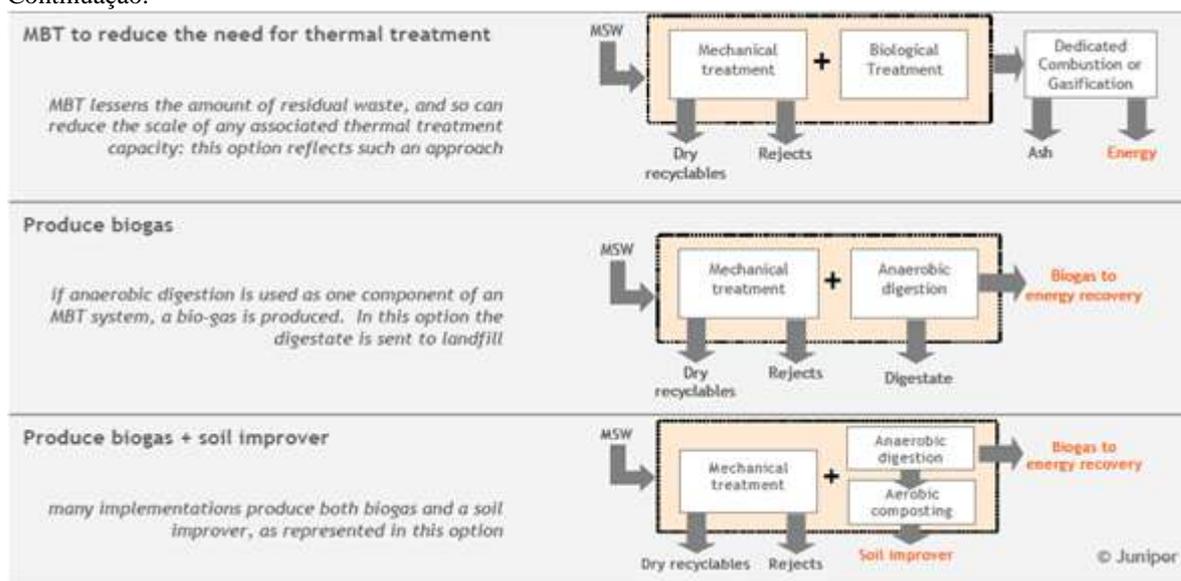
Os dois cenários finais são fundamentados na digestão anaeróbica e produzem biogás. A diferença entre eles é a finalidade do resíduo produzido: um é utilizado como composto e o outro é descartado no aterro, podendo ser otimizados de modo diferente. (ARCHER *et al*, 2005)

Independente da tecnologia que se escolha para combinar com o MBT, a metodologia será específica para a situação, o que torna o MBT eficiente.



Continua...

Continuação.



**FIGURA 3.2 Métodos de Tratamento Mecânico Biológico.**

Fonte: ARCHER *et al*, 2005.

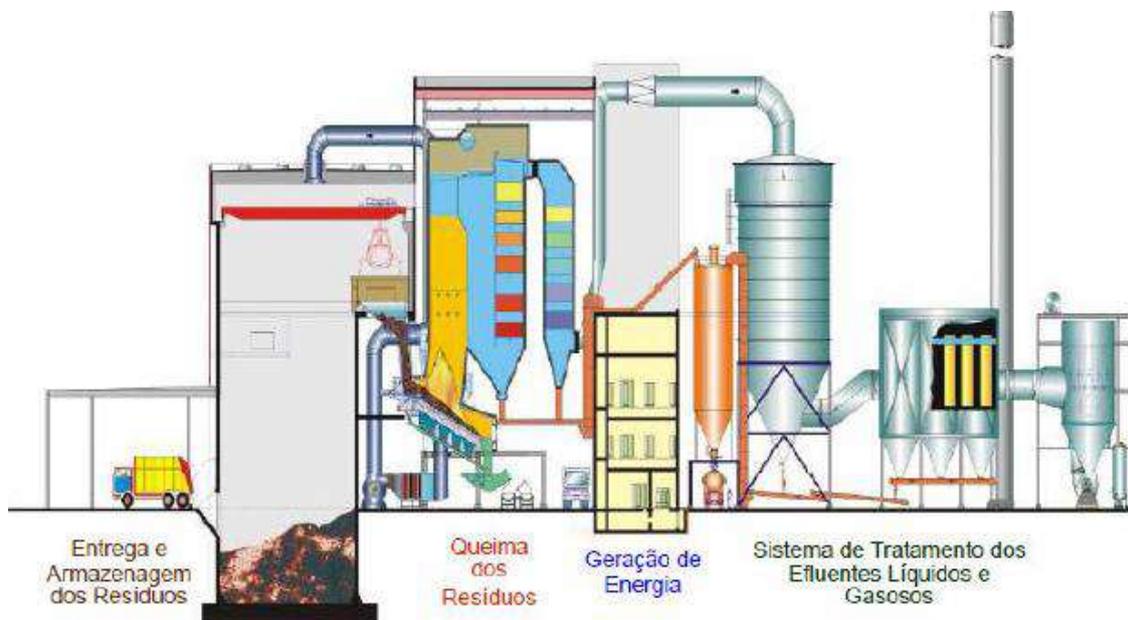
### 2.4.5 Incineração

Desde o século XVIII a incineração tem sido empregada como um método processador de resíduos, complementar ao aterramento e aos programas de reciclagem. (MORGADO e FERREIRA, 2006) É um processo realizado através de altas temperaturas e possui como finalidade reduzir a massa e o volume dos resíduos tratados, minimizando os riscos químicos e biológicos provenientes de sua disposição não planejada no meio ambiente. (CLEMENTINO, 2001)

O processo de incineração apresenta três principais desígnios: a eliminação da patogenicidade (resíduos hospitalares) e da periculosidade de resíduos (resíduos químicos); a redução significativa de massa (cerca de 70 %) e volume (cerca de 90%) dos RSU para a sua disposição final; e a geração de energia elétrica proveniente da queima dos resíduos. O poder calorífico do material combustível existente no lixo é o fator determinante para a quantidade de energia a ser gerada. (COELHO *et al*, 2008)

O processo de incineração começa pela fase de secagem dos resíduos sólidos urbanos que chegam à incineradora. Nesta fase o teor de água é reduzido para acelerar e tornar mais eficaz a combustão. Após a secagem, os resíduos são transferidos para a zona de combustão (em torno de 400-500°C). Os subprodutos são gases ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{N}_2$  e vapor d'água), água residual (materiais ferrosos e inertes) e cinzas (leves e de fundo).

Os gases são neutralizados e filtrados em equipamentos de alta eficiência (filtros de manga – 99% de eficiência). (PAULO, 2011) A água residual é tratada pelo sistema de tratamento de efluentes líquidos e gasosos e reintroduzido no sistema, como pode ser observado na figura 4. (COELHO *et al*, 2008; COELHO *et al*, 2011)



**FIGURA 4. Aproveitamento energético de resíduos sólidos.**

Fonte: COELHO *et al*, 2011 *apud* BOLOGNESI, 2010.

As cinzas provenientes da combustão podem ser divididas em dois tipos: as cinzas leves e as cinzas de fundo. A quantidade emitida de cada tipo de cinzas é diretamente proporcional ao teor de cinzas do material que sofreu a combustão e do processo de combustão adotado. (FORMOSINHO *et al*, 2000)

A cinza leve é aquela que acompanha os gases na saída da caldeira (faz parte do material particulado emitido pela chaminé). Ela representa uma parcela muito pequena das cinzas geradas e os filtros de manga retêm até 99% das cinzas leves expelidas da caldeira, gerando assim uma grande quantidade de um subproduto que inclusive é comercializável com indústrias cimenteiras. (HINRICHS e KLEINBACH, 2003)

A cinza de fundo é um material pesado que fica retido no fundo da caldeira, não compondo os efluentes aéreos. É um material inerte que pode ser armazenado para posterior utilização como material para fundações civis ou como base para a construção de rodovias. Este material também pode ser retirado via arraste hidráulico e constituir um efluente líquido, que deve ser tratado antes da destinação final. (HINRICHS e KLEINBACH, 2003)

Dentro do processo de incineração há uma vertente que utiliza um tipo de forno mais resistente e à maiores temperaturas (500-1000°C) do que o utilizado habitualmente. Esta vertente, chamada “co-incineração”, consiste no mesmo princípio da incineração com a única diferença de aproveitar os subprodutos (cinzas) para produção de cimento. Como, nesta perspectiva, o objetivo principal é a produção de cimento, os resíduos destinados à ela devem ser pré-tratados, não podendo conter certos elementos metálicos como o mercúrio, cádmio e titânio, por exemplo; que interfeririam na qualidade do cimento produzido. Este método apresenta maior rendimento energético do que a incineração. (FORMOSINHO *et al*, 2000; PAULO, 2011)

A implantação do sistema de incineração traz vantagens como a ampliação da vida útil do aterro e a utilização de um meio limpo para gerar energia. Em contrapartida, o custo inicial de implantação do sistema inviabiliza seu uso em massa. (COELHO *et al*, 2011)

Um assunto que sempre surge quando o tema é incineração é a liberação de gases, pelos filtros dos incineradores. que poderão ser nocivos para a saúde humana e ambiente. (PAULO, 2011)

#### **2.4.5.1 Poluentes Atmosféricos (vide Anexo A para legislação PNMA)**

A atmosfera do planeta pode ser considerada um recurso natural compartilhado pelo mundo inteiro e, cujos efeitos negativos sobre ela (efeito estufa, chuva ácida, smog...) oriundos das ações antrópicas não planejadas de forma adequada, são globalmente sentidos. A poluição do ar é a principal responsável pelos problemas ambientais e de saúde pública hoje sentidos. Dentre os principais gases liberados estão: o material particulado (MP), dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>), monóxido de carbono (CO), compostos de nitrogênio (NO<sub>x</sub>, NH<sub>3</sub>, N), ozônio, dioxinas e furanos. (PAULO, 2011)

Dentro deste contexto, a CETESB (Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental) desenvolveu padrões nacionais que medem a qualidade do ar com relação a quantidade da presença dos principais poluentes atmosféricos.

TABELA 2.1 Padrões nacionais da qualidade do ar.

Poluente	Tempo de Amostragem	Padrão primário ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Padrão secundário ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
Partículas Inaláveis ( $\text{MP}_{10}$ )	24 horas <sup>1</sup>	150	150
	MAA <sup>3</sup>	50	50
Dióxido de Enxofre ( $\text{SO}_2$ )	24 horas <sup>1</sup>	365	100
	MAA <sup>3</sup>	80	40
Monóxido de Carbono (CO)	1 hora <sup>1</sup>	40000 (35 ppm)	40000 (35 ppm)
	8 horas <sup>1</sup>	10000 (9 ppm)	10000 (9 ppm)
Ozônio ( $\text{O}_3$ )	1 hora <sup>1</sup>	160	160
Dióxido de Nitrogênio ( $\text{NO}_2$ )	1 hora	320	190
	MAA <sup>3</sup>	100	100

Fonte: CETESB, 2010.

Nesta tabela da CETESB, pode se notar que há dois padrões: o primário e o secundário, cada um com seu valor. O padrão primário refere-se às partículas produzidas diretamente da fonte através de processos físico-químicos. Já o secundário faz referência à partículas formadas na atmosfera proveniente de reações químicas com os gases preexistentes. (DOCKERY e POPE, 1994; ARBEX, 2003; CETESB, 2010)

Com relação a dioxinas e furanos, a organização mundial da saúde (WHO) elaborou padrões internacionais em 1998, que acabaram por ser revistos e modificados para que os modelos TEF's (fatores tóxicos equivalentes) fossem os mais recomendáveis para humanos e mamíferos.

TABELA 2.2. Fatores Tóxicos Equivalentes (TEF's) para PCDD/PCDF.

Compostos	WHO-TEFs
	Humanos/Mamíferos
PCDD	
2,3,7,8-TCDD	1
1,2,3,7,8-PeCDD	1
1,2,3,4,7,8-HxCDD	0,1
1,2,3,6,7,8-HxCDD	0,1
1,2,3,7,8,9-HxCDD	0,1
1,2,3,4,6,7,8-HpCDD	0,01
OCDD	0,0003
PCDF	
2,3,7,8-TCDF	0,1
1,2,3,7,8-PeCDF	0,03
2,3,4,7,8-PeCDF	0,3
1,2,3,4,7,8-HxCDF	0,1
1,2,3,6,7,8-HxCDF	0,1
1,2,3,7,8,9-HxCDF	0,1
2,3,4,6,7,8-HxCDF	0,1
1,2,3,4,6,7,8-HpCDF	0,01
1,2,3,4,7,8,9-HpCDF	0,01
OCDF	0,0003

Fonte: WHO, 1998.

Para a CETESB, há a norma E15.011/Dez.92, que trata de dioxinas e furanos e fixa em  $0,14 \text{ ng/Nm}^3$  a 11% de  $\text{O}_2$ , o valor máximo para a suas concentrações na atmosfera.

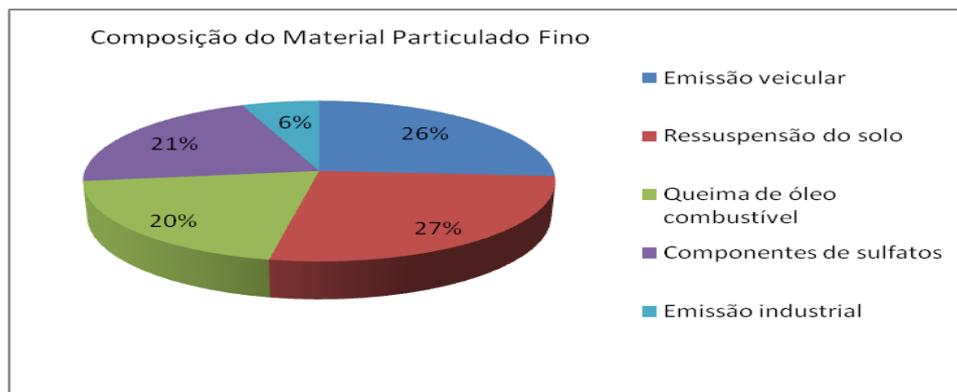
#### 2.4.5.1.1 Material Particulado

O material particulado (MP) é um agrupamento de partículas sólidas e líquidas em suspensão dispersas no ar, de origem natural ou antropogênica. A composição química, biológica e física depende da essência do MP e das transformações que o mesmo sofre na atmosfera. (DOCKERY e POPE, 1994; ARBEX, 2003; CETESB, 2010)

O tamanho das partículas do material particulado varia de acordo com seu diâmetro aerodinâmico, que varia de  $0,002\mu\text{m}$  a  $100\mu\text{m}$ , pois as partículas acima deste diâmetro não permanecem muito tempo suspensas no ar e tendem a se precipitar. As partículas mais relevantes ao meio ambiente e à saúde humana estão nesta faixa de  $0,002\mu\text{m}$  a  $100\mu\text{m}$ . É com base no diâmetro da partícula que ela é classificada como ultrafina ( $< 0,1\mu\text{m}$ ); fina (entre 1 e  $2,5\mu\text{m}$ ); ou grossa (de  $2,5\mu\text{m}$  à  $100\mu\text{m}$ ). (DOCKERY e POPE, 1994; CETESB, 2010; ARBEX, 2003)

As partículas finas e ultrafinas são emitidas pelo processo de combustão e geralmente são compostas por carbono, nitrato, amoníaco, sulfato, compostos orgânicos e metais, sendo que a aglomeração de partículas ultrafinas pode formar uma partícula fina. (ARBEX, 2003)

De acordo com CASTANHO, 1999, as partículas finas são compostas em 27% por ressuspensão do solo, em 26% por emissão veicular, em 21% por componentes de sulfatos, em 20% por queima de óleo combustível e em 6% por emissão industrial, como a gráfico 3.1, ilustra:

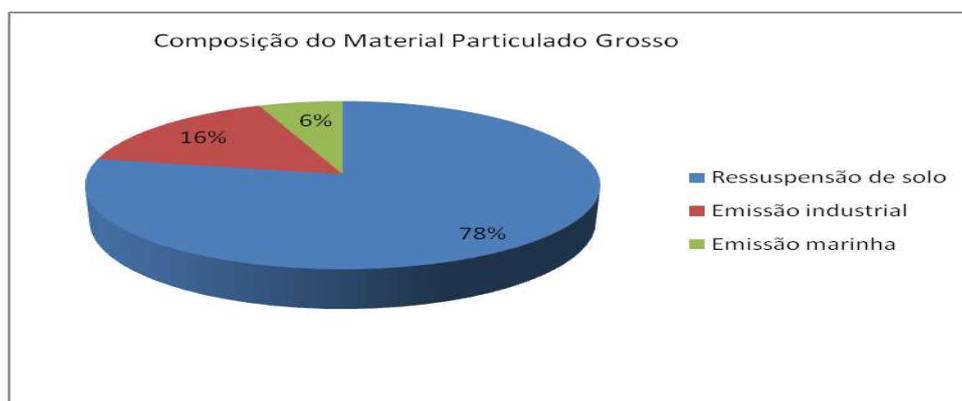


**GRÁFICO 3.1 Composição do material particulado fino.**

Fonte: Autoria própria.

As partículas grossas são provenientes de processos mecânicos como a erosão causada pelo vento ou pelas correntes nos rios e a névoa marinha, por exemplo. Sua retirada da atmosfera é realizada por sedimentação ou ação da chuva. São compostas majoritariamente por compostos inorgânicos, mas também aparecem na forma de pólen, esporos e insetos, entre outros. (ARBEX, 2003)

De acordo com CASTANHO, 1999, as partículas grossas são compostas de 78% de ressuspensão de solo, 16% de Emissão industrial e 6% de Emissão Marinha. Acredita-se que o tráfego de veículos contribui indiretamente para o valor encontrado no quesito resuspensão de poeira do solo, como o gráfico 3.2, demonstra:



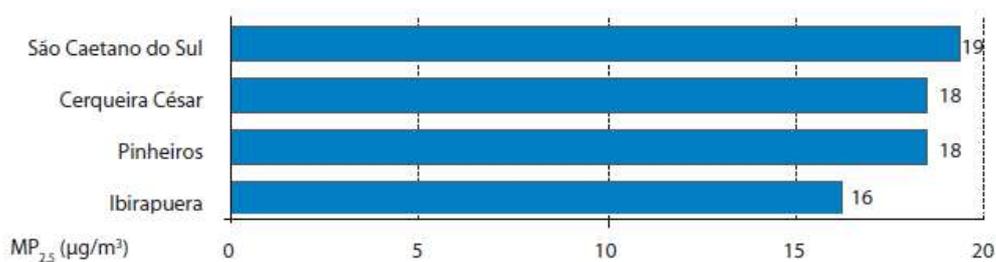
**GRÁFICO 3.2 Composição do material particulado grosso.**

Fonte: Autoria própria.

A relação média do material particulado fino ( $2,5\mu\text{m}$ ) pelo material particulado grosso ( $10\mu\text{m}$ ) na região metropolitana de São Paulo (RMSP) é de 0,6; com a fração fina, que é mais nociva à saúde, predominando sobre a fração grossa. (CETESB, 2010)

Segundo a Organização Mundial da Saúde (OMS), a razão de 0,5 é característica de zonas urbanas de países em desenvolvimento e corresponde ao limite inferior da faixa encontrada em regiões urbanas de países desenvolvidos (0,5-0,8).

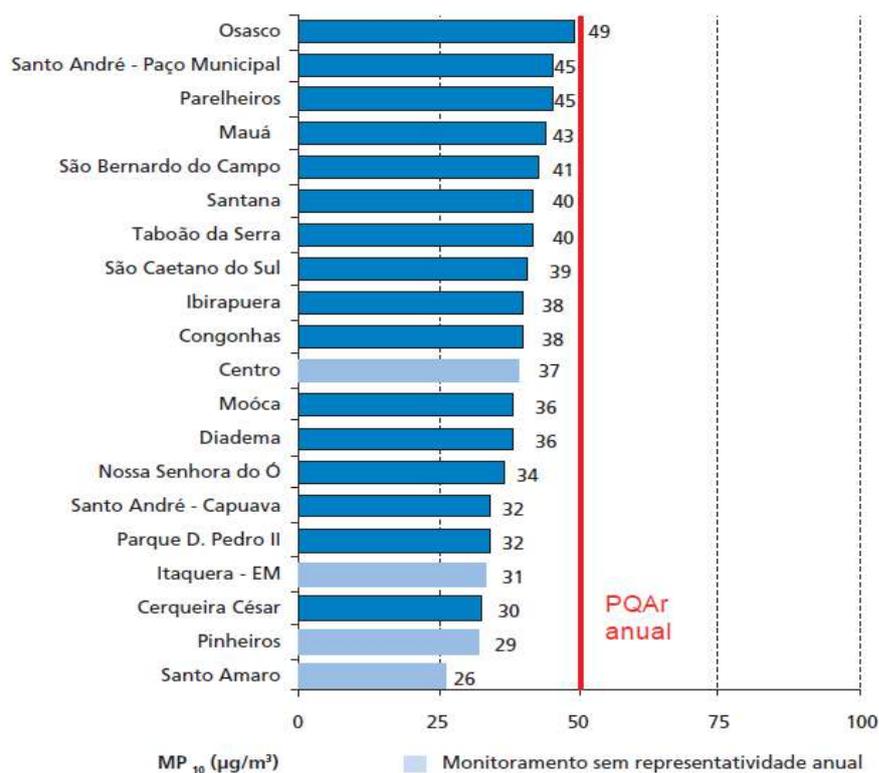
No Brasil, não há legislação de padrão de qualidade do ar para o material particulado fino, porém o valor guia estabelecido pela OMS ( $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) foi ultrapassado em todas as estações metropolitanas da CETESB em São Paulo, como pode ser observado no gráfico 4.1 abaixo:



**GRÁFICO 4.1 Classificação das concentrações médias anuais para MP<sub>2,5</sub>.**

Fonte: CETESB, 2010.

A legislação para o material particulado grosso, no Brasil, é de  $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , num período de 24 horas. Observando a classificação das concentrações médias anuais ilustradas no gráfico 4.2 abaixo, podemos notar que nenhuma região metropolitana de São Paulo atingiu o Padrão de Qualidade do ar anual, embora Osasco esteja praticamente em cima do valor máximo estabelecido por este padrão.

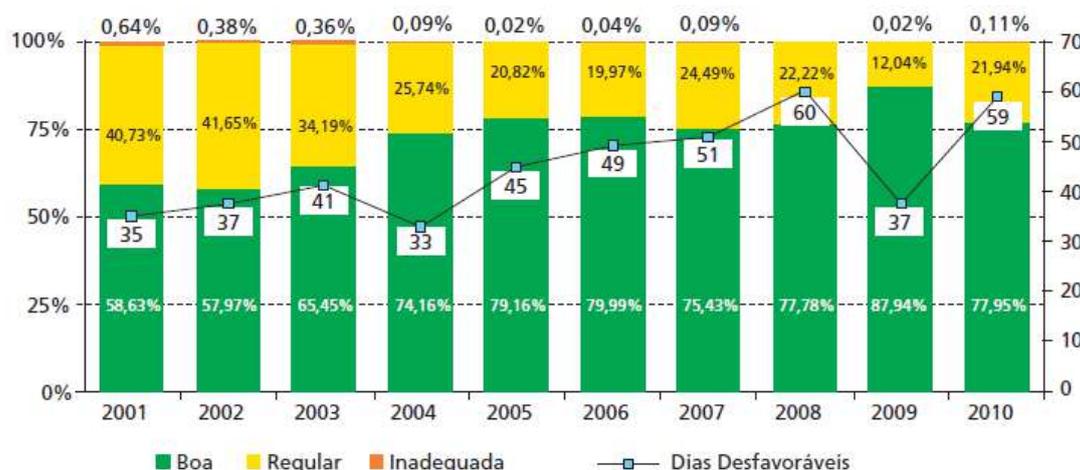


Período de monitoramento: Centro – 01/01 a 08/02/10; Itaquera-EM – 01/01 a 06/08/10; Pinheiros – 01/01 a 12/04/10; Santo Amaro – 01/01 a 10/02/10.

**GRÁFICO 4.2. Classificação das concentrações médias anuais de MP<sub>10</sub>.**

Fonte: CETESB, 2010.

A distribuição percentual da qualidade do ar nos últimos dez anos, nas estações da CETESB localizadas nas regiões metropolitanas de São Paulo é apresentada no gráfico 4.3 abaixo. Considera-se o monitoramento como sendo anual representativo. Também é apresentado, para comparação, o número de dias nos meses de maio a setembro em que as condições meteorológicas foram desfavoráveis a dispersão de poluentes.



Base RMSF: Todas as estações fixas com monitoramento anual representativo, com exceção de Cambuci, Lapa e São Miguel Paulista.

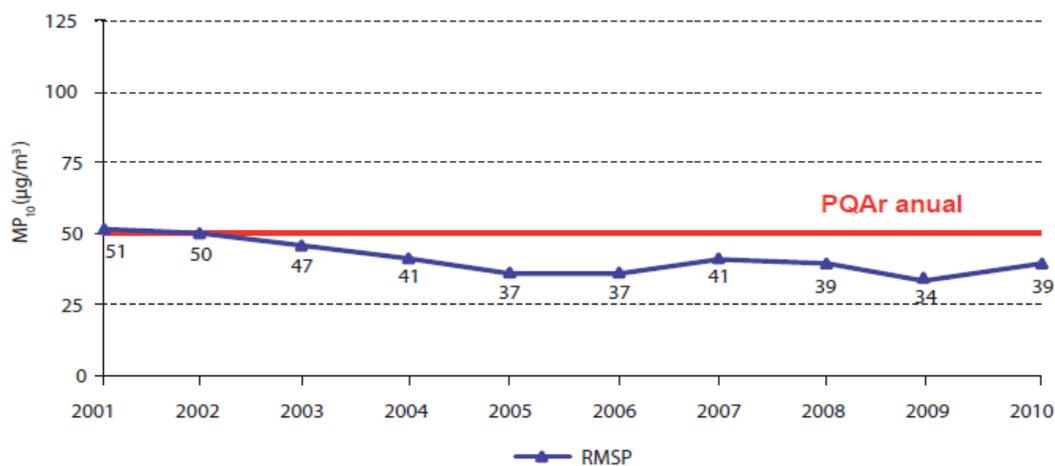
**GRÁFICO 4.3. Distribuição percentual da qualidade do ar para MP<sub>10</sub>.**

Fonte: CETESB, 2010.

Considerando que, na região metropolitana de São Paulo as emissões de MP<sub>10</sub> são, em grande parte, são provenientes de emissões veiculares, pode ser notado que desde 2006 houve uma paralização da queda dos níveis de MP<sub>10</sub> que vinham sendo verificados. Com exceção do ano de 2009, cuja queda de valores se deu pelas condições meteorológicas favoráveis daquele ano.

Em 2010, o aumento das concentrações de MP<sub>10</sub> pode ser presenciado em todas as estações, proporcionado pela retomada das condições desfavoráveis que ocorriam até 2008. Todavia, apesar do número de dias com condições meteorológicas desfavoráveis, pode ser reconhecido o fato de que a dispersão de poluentes ter sido menor, em comparação aos anos entre 2006-2008. Esta melhoria pode ser atribuída às ações e programa de controle de emissões.

Todos estes dados podem ser observados no gráfico 4.4 abaixo:



Base: Todas as estações com monitoramento representativo no ano, com exceção de Cambuci, Lapa e São Miguel Paulista.

**GRÁFICO 4.4. Evolução das concentrações médias anuais de MP<sub>10</sub>.**

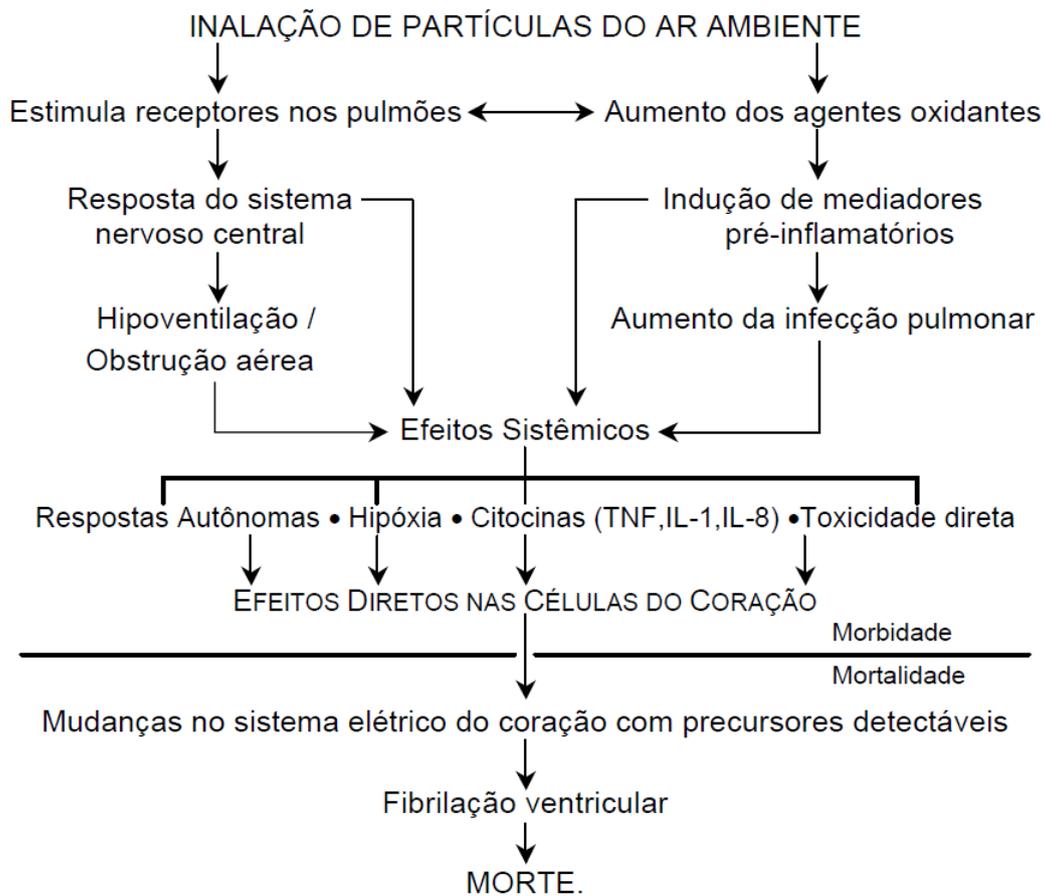
Fonte: CETESB, 2010.

Ainda ao que concerne o tamanho das partículas, as partículas maiores de 10µm de diâmetro ficam retidas no nariz e nasofaringe e são banidas através da deglutição, tosse, espirro ou secreção mucociliar. Partículas entre 10µm e 2,5µm ficam retidas nas vias aéreas superiores e podem ser depositadas na traquéia e nos brônquios. Partículas entre 2µm e 2,5µm depositam-se nos bronquíolos terminais do pulmão. Partículas entre 1µm e 2µm se alojam nos alvéolos. (WHO, 1998; ARBEX, 2003; CETESB, 2010)

Considerando-se que, diariamente, a cerca de 15 kg de ar são inalados pela maioria dos indivíduos, quantidade essa que pode variar com a idade e nível de atividade de cada pessoa, é de se esperar que a qualidade da respiração afete o funcionamento do metabolismo celular do organismo e, portanto, a saúde do indivíduo. (SAINTMARC, 1979; DEGOBERT, 1995)

Estudos epidemiológicos ligam efeitos adversos do MP à doenças pulmonares. A inflamação pulmonar é uma das causas de morbidade e possível morte pela inalação de partículas. (COLLINS *et al*, 2007)

Como pode ser observado no fluxograma 2 abaixo, os poluentes do ar entram no organismo dos seres humanos e de outros seres vivos pelo sistema respiratório, causando grandes desordens não apenas nesse sistema, pois passam dos pulmões para o sistema circulatório, afetando também outras funções fisiológicas. (DEGOBERT, 1995; PERERA, 1997) À longo prazo essas desordens ocasionadas pelos poluentes do ar agravam os problemas respiratórios, podendo acarretar em câncer do trato respiratório e à fibrose pulmonar. (PERERA, 1997)



**FLUXOGRAMA 2. Estudo epidemiológico do Material Particulado.**

Fonte: COLLINS *et al*, 2007.

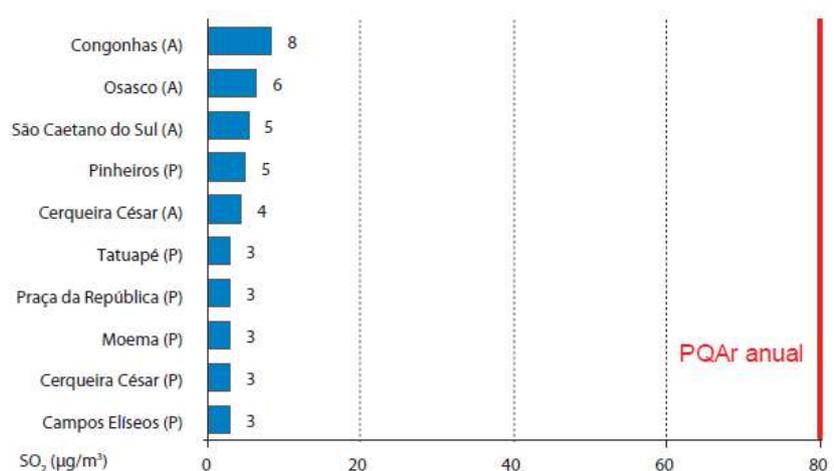
#### 2.4.5.1.2 Dióxido de Enxofre

Oriundo da combustão de elementos fósseis gerados em automóveis e termoelétricas, o dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>), quando lançado na atmosfera é oxidado e forma o ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>). A permanência deste composto no ar por um período longo de tempo acarreta no transporte deste gás e de seus derivados (aerossóis ácidos) para regiões mais distantes do que a de origem, aumentando a área de atuação destes poluentes. (BRAGA *et al*, 2008)

A via aérea superior é a responsável pela absorção do SO<sub>2</sub> inalado por uma pessoa em repouso, sendo as regiões mais distais do pulmão as responsáveis pela absorção deste gás em condições de atividade física. Esta diferença se dá devido ao aumento da ventilação. A eliminação deste gás ocorre através de duas vias: expiração do ar através das narinas e pela urina. (BRAGA *et al*, 2008)

O dióxido de enxofre oxidado ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) é o aerossol ácido mais irritante para o trato respiratório ( $\text{pH} < 1$ ), sendo ele e seus sais de amônia constituintes da maior parte das partículas finas. (BRAGA *et al.*, 2008)

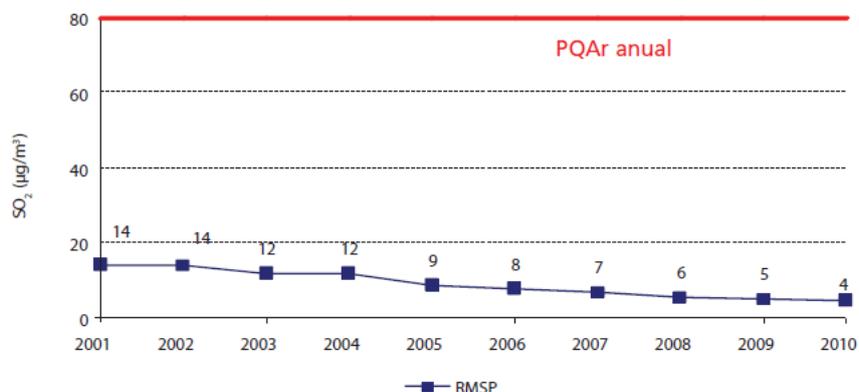
Segundo o relatório do ar desenvolvido pela CETESB em 2010, não houve ultrapassagem do padrão de qualidade do ar diário ( $365 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) em nenhuma das estações de monitoramento, como pode ser observado no gráfico 5.1 abaixo:



**GRÁFICO 5.1. Classificação das concentrações médias anuais de  $\text{SO}_2$  nas regiões metropolitanas de São Paulo.**

Fonte: CETESB, 2010.

Analisando a evolução das concentrações médias anuais do  $\text{SO}_2$  nas regiões metropolitanas de São Paulo, pode ser observado que os níveis de dióxido de enxofre vêm sendo reduzidos lentamente como resultado, principalmente, do controle exercido sobre as fontes fixas e da redução do teor de enxofre dos combustíveis, tanto industrial como automotivo, como pode ser notado no gráfico 5.2 abaixo:



Base RMSP: estações automáticas e passivas com representatividade anual.

**GRÁFICO 5.2. Evolução das concentrações médias anuais do SO<sub>2</sub> nas regiões metropolitanas de São Paulo.**

Fonte: CETESB, 2010.

**2.4.5.1.3 Monóxido de Carbono**

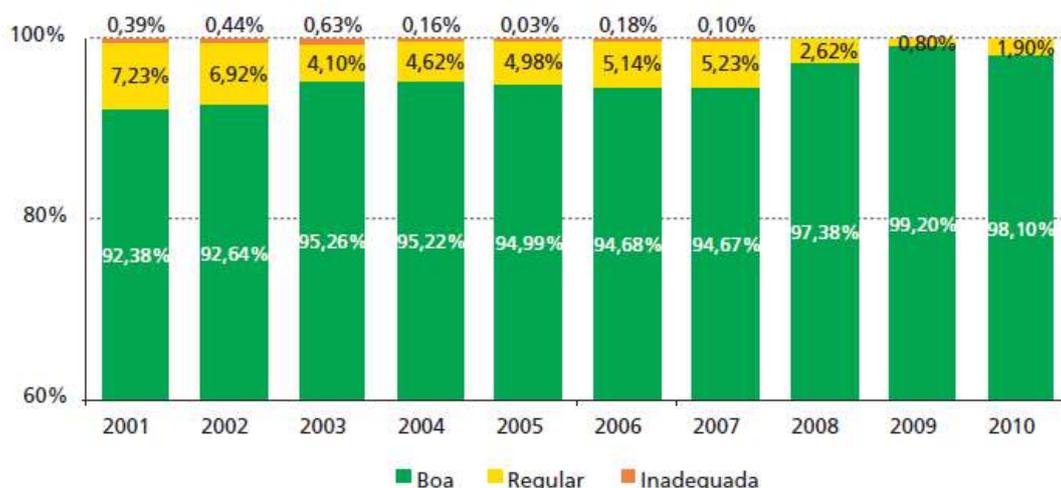
Os alvos deste gás são os pedestres, os ciclistas e as pessoas que trabalham o dia inteiro circulando pela cidade, como por exemplo, taxistas e motoristas de transporte público. Em ambientes internos de escritórios e residências, os vilões da história são: o sistema de ventilação, que traz o monóxido de carbono (CO) do exterior para o interior e o sistema de produção de calor (aquecedores à óleo, fogão a gás, churrasqueira, entre outros). (BRAGA *et al*, 2008)

O nível de carbono na hemoglobina (pigmento dos glóbulos vermelhos do sangue, que assegura o transporte do oxigênio e do gás carbônico entre o aparelho respiratório e as células do organismo) presente no sangue (carboxihemoglobina), pode ser medido e utilizado como determinante de exposição individual ao monóxido de carbono. Isto é possível devido ao fato de pessoas saudáveis e não fumantes, apresentam um aumento de até 100% nos níveis de carboxihemoglobina quando expostas constantemente a altos níveis de CO. (BRAGA *et al*, 2008)

A atuação do monóxido de carbono nos organismos é interessante. Quando inalado ele procurará diretamente a hemoglobina, composto com quem apresenta afinidade 240 vezes maior que o oxigênio, saturando-as e diminuindo a capacidade do sangue de transportar oxigênio (O<sub>2</sub>). (BRAGA *et al*, 2008) Se inalado por um longo período ininterrupto pode até levar a morte.

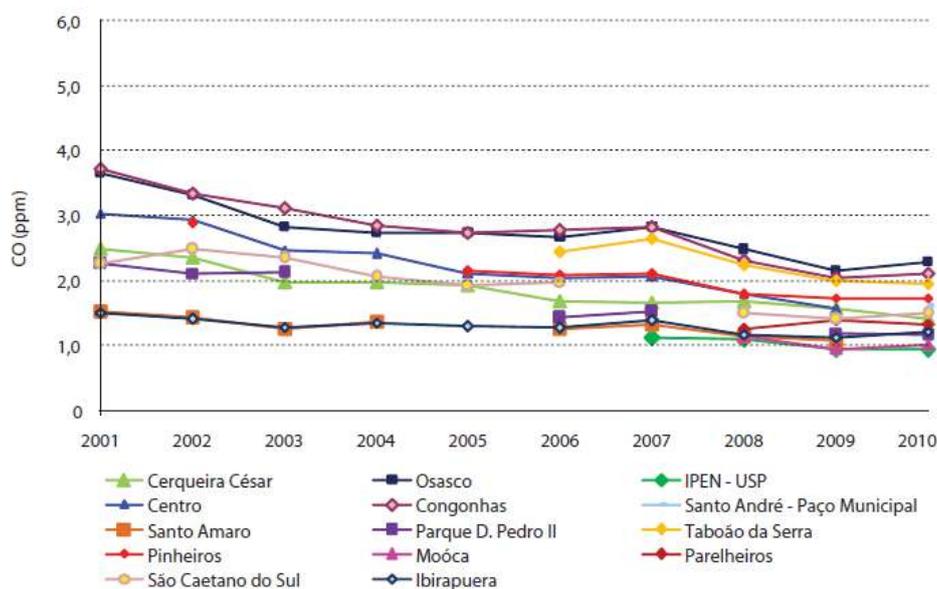
Nos últimos três anos, os níveis de monóxido de carbono que vinham se aproximando da estabilidade até 2007, decaíram na região metropolitana de São Paulo; apresentando em 2010, os níveis mais baixos da década, mesmo em condições meteorológicas bastante desfavoráveis; como pode ser notado no gráfico 6.1.

Apesar de inexistir padrão anual para monóxido de carbono (CO), a CETESB montou um gráfico para que se pudesse avaliar a tendência dos níveis de concentração a curto prazo. Neste gráfico foram incluídas somente as estações que atenderam ao critério de representatividade anual e que possuem mais de três anos de dados.



**GRÁFICO 6.1. Distribuição percentual da qualidade do ar para CO.**

Fonte: CETESB, 2010.



**GRÁFICO 6.2. Evolução das concentrações médias anuais das máximas diárias (médias de 8 horas) para CO, nas regiões metropolitanas de São Paulo.**

Fonte: CETESB, 2010.

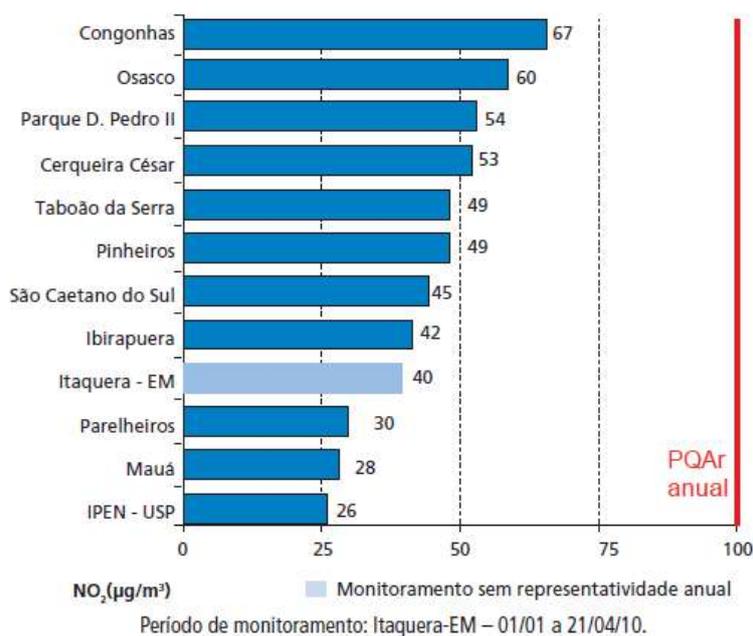
Avaliando o gráfico 6.2 acima pode notar-se uma evolução de 2001 para 2010, pois a concentração do gás monóxido de carbono (CO) abaixou em todas as estações da CETESB na região metropolitana de São Paulo. Ainda vale destacar que as concentrações atuais, apesar do aumento da frota, são bem menores que as observadas na década de 90. Isto se deve à redução das emissões dos veículos leves novos, em atendimento aos limites cada vez mais rígidos do PROCONVE e do PROMOT, associada a renovação da frota existente.

#### 2.4.5.1.4 Dióxido de Nitrogênio

Os dióxidos de nitrogênio são formados na atmosfera durante a interação química do gás oxigênio e do gás nitrogênio, que são encontrados na atmosfera, em diversos arranjos de compostos. (ALMEIDA, 1999) São agentes oxidantes tóxicos que, quando inalados, atingem as porções periféricas do pulmão. (BRAGA *et al*, 2008)

A principal fonte de dióxidos de nitrogênio são os motores dos automóveis, seguida por usinas termoeletricas e indústrias. Durante a combustão (interação química do gás nitrogênio e do gás oxigênio) há formação de compostos extremamente reativos e precursores do ozônio na troposfera. (BRAGA *et al*, 2008)

Segundo a CETESB, a concentração média anual de dióxido de nitrogênio nas regiões metropolitanas de São Paulo está bem distante do padrão de qualidade do ar estabelecido, como pode ser comprovado no gráfico 7.1:

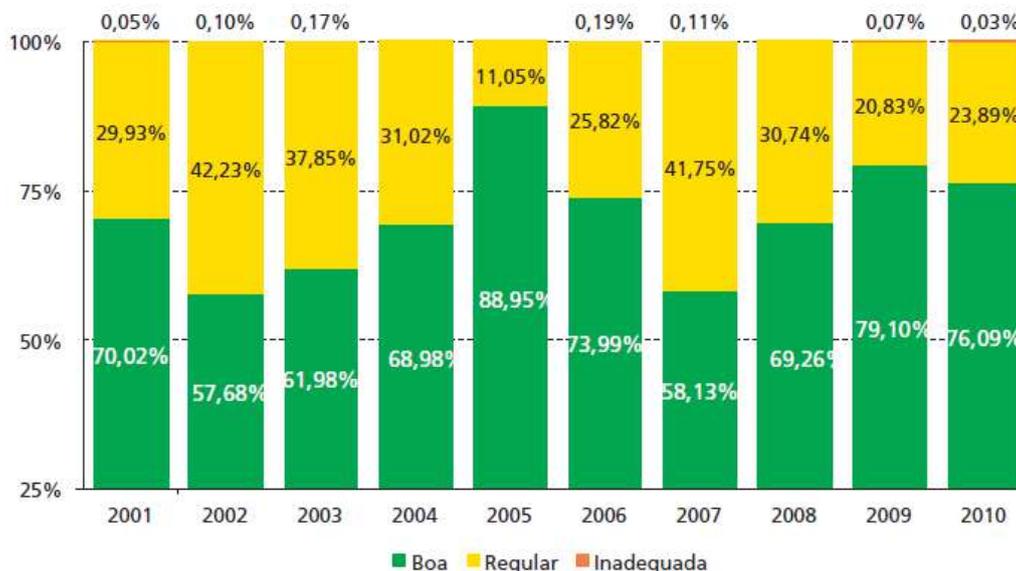


**GRÁFICO 7.1. Classificação das concentrações médias anuais de NO<sub>2</sub> nas regiões metropolitanas de São Paulo.**

Fonte CETESB, 2010.

Analisando-se a distribuição percentual da qualidade do ar nas regiões metropolitanas de São Paulo, não nota-se nenhuma tendência definida. A boa notícia é que o ar, para o NO<sub>2</sub>, é considerado bom em 76% e 24% em regular, praticamente

inexistindo ar de qualidade inadequada para este composto, como demonstrado no gráfico 7.2:



**GRÁFICO 7.2. Distribuição percentual da qualidade do ar para NO<sub>2</sub>.**  
Fonte: CETESB, 2010.

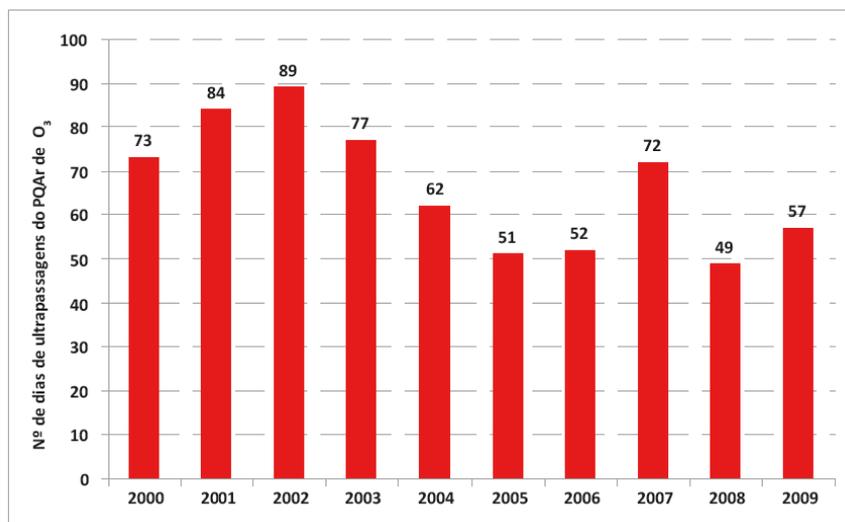
#### 2.4.5.1.5 Ozônio

O Ozônio (O<sub>3</sub>) é um elemento químico que possui dois papéis. Quando está localizado a 25 km de altitude, na estratosfera, sua função é benéfica, pois protege a Terra dos raios ultravioletas emitidos pelo sol. Porém, quando situado na baixa atmosfera (troposfera), causa preocupação por ser tóxico e causar danos à vegetação e à saúde humana.

O ozônio da estratosfera é formado quando a luz ultravioleta do sol divide uma molécula de oxigênio (O<sub>2</sub>), formando dois átomos de oxigênio. Cada átomo de oxigênio une-se a uma molécula para formar o ozônio. Já o ozônio da troposfera é produzido de forma antrópica como o resultado da poluição do ar, através de motores de combustão interna, usinas geradoras de energia e, principalmente, escapamento de automóveis. Este processo tem início com a liberação de uma gama de gases de óxido nitroso (NO<sub>x</sub>) e compostos orgânicos voláteis (VOC), provenientes da queima de gasolina e carvão. Estes gases, por sua vez, combinam-se quimicamente ao oxigênio e, desta interação química nasce o ozônio troposférico. (FIGUEIREDO, 2011)

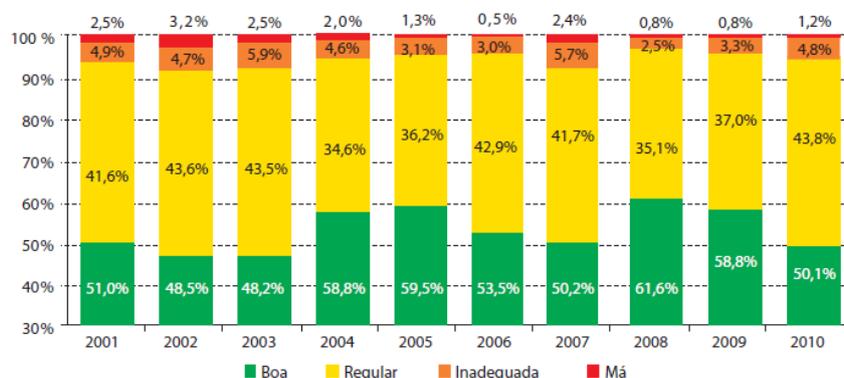
A razão para a toxicidade do ozônio ser tão preocupante é a facilidade de transporte, através do vento, da área de produção (áreas urbanas) para áreas mais

longínquas (periferias e regiões agrícolas); estando assim sempre presente na atmosfera em altas concentrações, quando comparado aos outros poluentes. A dependência de fatores meteorológicos para a formação e dissipação do ozônio dificulta as medidas de controle, acarretando na ultrapassagem dos valores estabelecidos no Padrão de Qualidade do Ar (PQAR), como pode ser demonstrado no gráfico 8.1 abaixo:



**GRÁFICO 8.1. Número de dias de ultrapassagem do PQAR de Ozônio.**  
Fonte: CETESB, 2010.

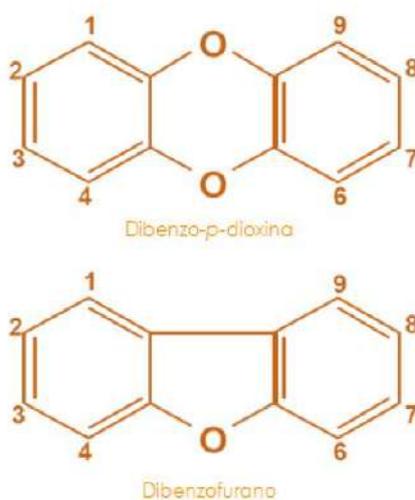
Quando analisada a distribuição percentual da qualidade do ar para O<sub>3</sub> na região metropolitana de São Paulo, ao longo de 10 anos, nota-se grande variação da qualidade do ar ao longo dos anos ao longo dos anos. Todavia, as porcentagens demonstradas no ano de 2010 são bem semelhante as porcentagens do ano de 2001, como pode ser visto no gráfico 8.2 abaixo.



Base: Todas as estações fixas e móveis (Horto-Florestal e Itaquera-EM) com representatividade anual dos dados, exceto Lapa e São Miguel Paulista.  
**GRÁFICO 8.2. Distribuição percentual da qualidade do ar para O<sub>3</sub> na região metropolitana de São Paulo.** Fonte: CETESB, 2010.

### 2.4.5.1.6 Dioxinas e Furanos

As dioxinas (PCDD) e furanos (PCDF) são compostos químicos que possuem a função éter em configuração molecular semelhante (anéis aromáticos tricíclicos). Devido a esta configuração molecular, estas duas substâncias apresentam um grande número de congêneres (membros do grupo) desencadeando em alguns isômeros (compostos diferentes com mesma fórmula molecular) realmente persistentes, estáveis e tóxicos. (MEYER *et al.*, 2004; PAULO, 2011)



**FIGURA 5. Estruturas Moleculares do Dibenzop-dioxina e do Dibenzofurano.**

Fonte: PAULO, 2011.

Estes compostos podem ocorrer de forma natural na natureza (erupções vulcânicas e incêndios florestais) ou serem fabricados pelo homem (indústrias). Todavia, a sua grande concentração na atmosfera se originou na era industrial e continua crescendo na atualidade. (LAVRIC *et al.*, 2004; PAULO, 2011)

As principais fontes de contaminação do ambiente por dioxinas e furanos são: combustão (incineração e queima de combustíveis), fundição de metais e refinaria (fundição metálica, refinaria e reciclagem de sucata metálica), indústria química (herbicidas e compostos clorados), processos biológicos (compostagem e fotólise) e reservatórios (solos, sedimentos, água). (USEPA, 2003) E a principal fonte de contaminação antrópica por PCDD/PCDF ocorre através da dieta alimentar, principalmente dos gêneros alimentícios de origem animal. (PAULO, 2011)

De todas as fontes de contaminação, as emissões industriais de dioxina são as mais preocupantes para o meio-ambiente, pois podem ser transportadas a longas

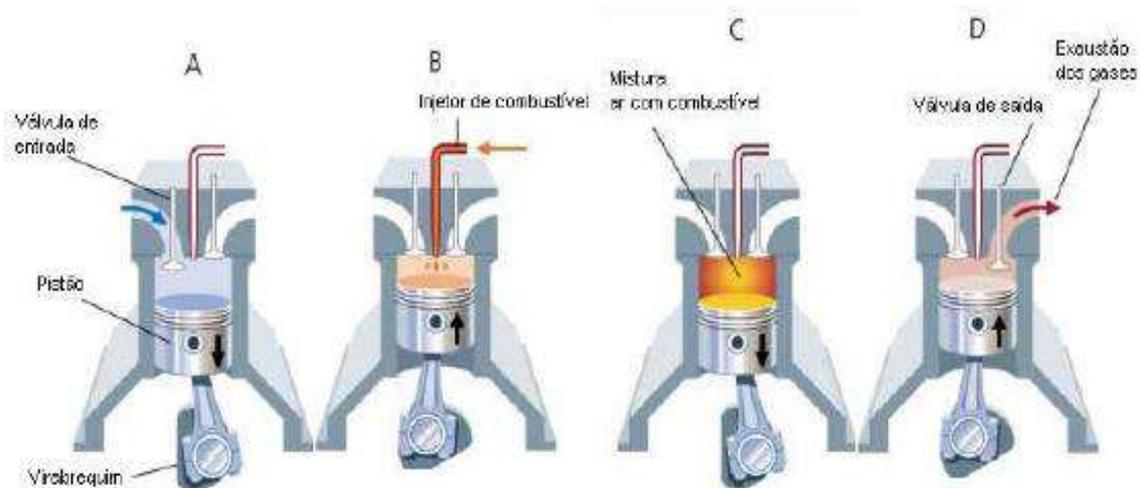
distâncias por correntes atmosféricas, marítimas e oceânicas; estando atualmente presentes no globo de forma difusa. Outro ponto relevante é a persistência destas substâncias que podem levar anos ou séculos para se degradar e são produzidas de forma contínua no meio-ambiente. (PAULO, 2011)

Como cada congênere dos PCDD/PCDF apresenta uma toxicidade diferente, para facilitar a avaliação dos riscos, foi criado o fator tóxico de equivalência (TEF). A elaboração de um parecer toxicológico deste distinto grupo é realizado a partir da multiplicação da massa de cada congênere (membros do grupo das dioxinas e furanos) pelo correspondente valor TEF (fator tóxico equivalente). O resultado é o potencial tóxico de cada congênere. A toxicidade global é a soma dos potenciais tóxicos obtidos. (PAULO, 2011)

#### **2.4.6 Geração de Energia**

Das metodologias descritas acima, o biogás, a gaseificação (presente em um das vertentes do MBT) e a incineração, são capazes de produzir energia elétrica. As duas primeiras se utilizam do metano ( $\text{CH}_4$ ) como material principal de conversão da energia química em energia mecânica, através de combustão controlada (microturbinas/motor de ciclo otto). Energia esta que deve ser acoplada a um gerador que a converta em energia elétrica. (PECORA, 2006) Na incineração, a conversão a ser realizada é a de energia térmica em energia elétrica, realizada através de turbinas a gás. (CAIXETA, 2005)

O motor de ciclo Otto foi projetado em 1962 pelo físico francês Alphonse Beau de Rochas e, seu primeiro protótipo, desenvolvido em 1867 pelo engenheiro alemão Nikolaus August Otto. É um motor que se fundamenta em um ciclo de quatro tempos, com combustão interna através da ignição por centelha e, cujo rendimento é fundamentado apenas na relação de compressão, ou seja, a combustão é gerada pela explosão do combustível através de uma fagulha na câmara de combustão, como pode ser observado na figura 6 abaixo. Para que esta metodologia gere energia elétrica, a mesma deve ser acoplada a um gerador. Esta metodologia apresenta potência de 30 kW a 20MW, rendimento de 30 a 34% e emissão de gases até 3.000 ppm (ALVES, 2000; MILHOR, 2002; PECORA, 2006, CASTRO, 2009)

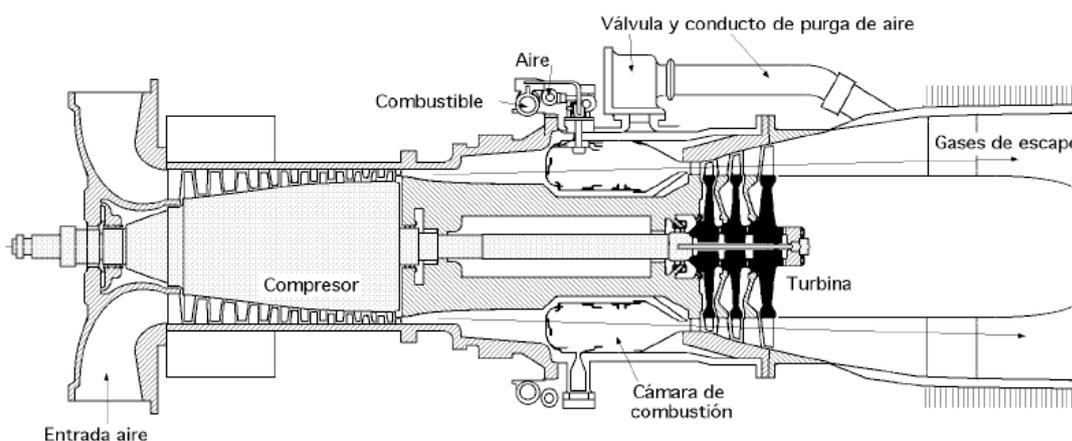


**FIGURA 6. Motor de Ciclo Otto de 4 tempos.**

Fonte: CASTRO, 2009.

Outra tecnologia que, acoplada a um gerador também é capaz de realizar a transformação necessária à geração de energia elétrica, é a turbina a gás.

A turbina a gás é composta por um compressor de ar, câmara de combustão e uma turbina, como pode ser notado na figura 7. Nesta última, o dimensionamento é realizado com o intuito de assegurar uma velocidade de saída baixa aos gases de exaustão, aumentando conseqüentemente a geração de energia da turbina. O compressor é acionado pela própria turbina. Estas turbinas apresentam potência de 500 kW a 150 MW, rendimento em torno de 20 à 30% e emissão de gases na faixa de 30 à 50 ppm. (ALVES, 2000; DIÉZ, 2005; PECORA, 2006)

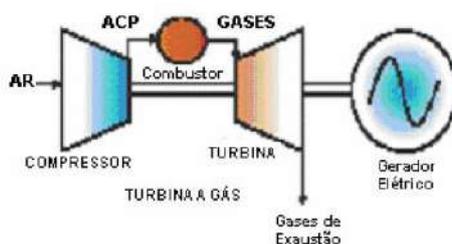


**FIGURA 7. Turbina a gás.**

Fonte: DIÉZ, 2005.

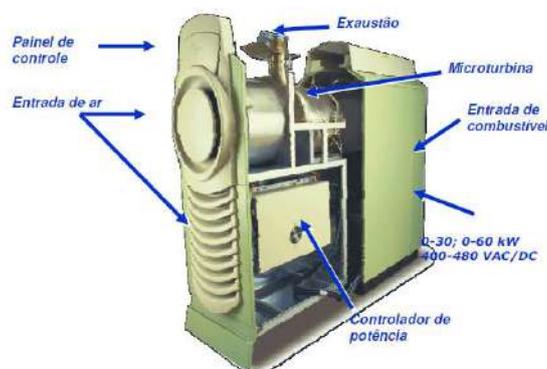
Há turbinas a gás que se utilizam de uma metodologia chamada ciclo de Brayton (figura 8), composta por um compressor que succiona continuamente o ar atmosférico e

o comprime a alta pressão. O ar comprimido passa à câmara de combustão, onde é misturado ao combustível e sofre ignificação, liberando gases em altas temperaturas. Tais gases se expandem na turbina e são descarregados na atmosfera. O trabalho desenvolvido na turbina possui duas utilidades: acionar o compressor e acionar o gerador elétrico. O rendimento é em torno de 30 a 35%, há necessidade de o diesel utilizado conter baixo teor de enxofre e a média de emissão de gases é de 27 ppm. (ALVES, 2000; PECORA, 2006)



**FIGURA 8. Ciclo de Brayton.**  
Fonte: PECORA, 2006.

As microturbinas são turbinas de pequena dimensão que operam na faixa de 30 a 100 kW, com diversos tipos de combustível (entre eles o biogás), à altas velocidades de rotação, obtendo um rendimento em torno de 24 a 28%. O mecanismo se baseia na sucção do ar para o interior da turbina a alta velocidade e pressão, onde é misturado ao combustível e significado controladamente, de modo que se obtenha máxima eficiência e baixo nível de emissão dos gases não aproveitados (menores que 9 ppm). Como desvantagem desta tecnologia temos o preço elevado, em função da ainda pequena escala de produção, necessitando maiores incentivos para sua viabilização em maior escala. (ALVES, 2000; PECORA, 2006)



**FIGURA 9. Microturbina.**  
Fonte: PECORA,2006.

Para a conversão energética do biogás, os motores possuem maior eficiência. Já as turbinas a gás possuem maior eficiência global de conversão, quando operadas em cogeração (calor e eletricidade - incineração). (PECORA, 2006)

#### 2.4.6.1 Balanço Energético

O Balanço Energético é a análise do potencial energético dos resíduos sólidos. Considerando que em nosso país a geração elétrica é essencialmente hidráulica, 1 kWh de eletricidade equivalerá à quantidade de calor necessária para produzi-la (3.132 kcal), e não ao seu equivalente calórico (860 kcal), como é feito em escala mundial, onde a ótica da demanda é privilegiada. Nesta ótica, a contabilização da energia é feita sob o ponto de vista do consumidor final, considerando os poderes caloríficos inferiores (PCI) e não os superiores (PCS). Porém, esta metodologia só tem sentido nos países que geram eletricidade em base térmica (e não hidráulica, como é a realidade brasileira), pois quando usada aqui, esta metodologia resulta em um super dimensionamento da eletricidade equivalente a 3,64 vezes superior que aquela energia realmente disponibilizada para a sociedade. (ANEEL, 2008; EMAE, 2011)

Geralmente os balanços energéticos contabilizam diversas formas de energia considerando-as homogêneas quanto ao aspecto “qualidade”. Para driblar este impasse metodológico é necessária a elaboração de um *balanço de energia útil (efetivamente utilizada)*, no qual se calculariam as formas de energia e os setores, de acordo com os equipamentos empregados e os serviços prestados em cada setor. (ANEEL, 2008; EMAE, 2011)

TABELA 3. Energia Final e energia Útil do setor de eletricidade.

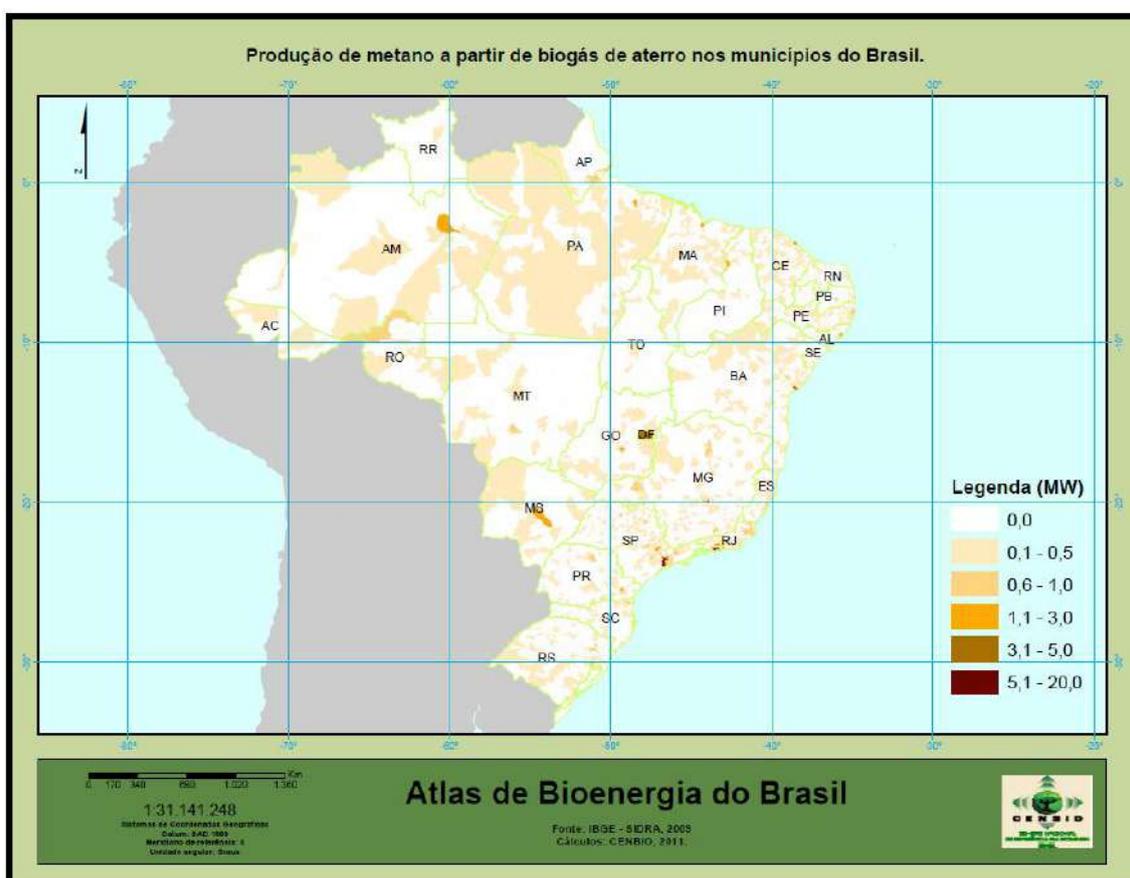
	Energia Energético	Residencial	Comercial	Público	Agropecuário	Transporte	Indústria	Total
Eletricidade (10 <sup>9</sup> kcal)	final	2.959	26.925	17.873	8.769	2.202	777	56.968
	útil	2.603	17.771	9.830	4.210	1.894	722	43.295
								116.473
								80.326

Fonte: Balanço Energético Nacional, MME, 2009. Ano base: 2008.

Conforme dados divulgados pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE), foram consumidos em 2011, 430,1 mil gigawatts-hora (GWh) de eletricidade na rede, 3,6% a mais que em 2010. Todas as classes apresentaram crescimento positivo, com destaque para os setores comercial (+6,3%) e residencial (+4,6%). A classe industrial apresentou

crescimento mais modesto (+2,3%), caracterizado por uma dinâmica diferenciada entre as regiões do país. (EMAE, 2011)

No caso do aterro, o potencial energético dependerá da produção de metano a partir do biogás, como pode ser observado na cartograma 2, que demonstra que a produção de metano a partir do biogás de aterro nos municípios brasileiros ainda é pequena. Todavia, desde 2001 a SABESP está investindo num projeto (2,0 a 2,6 MW) para a geração de energia elétrica e cogeração a partir de biogás, em sua Estação de Tratamento de Esgoto de Barueri na Região Metropolitana de São Paulo, com motores ciclo otto. (ALVES, 2000)



**CARTOGRAMA 2. Atlas de Bioenergia do Brasil.**

Fonte: CENBIO, 2011

Segundo o censo demográfico do IBGE, realizado em 2010, a partir da metodologia do IPCC/CETESB, o município de São José dos Campos (SP) apresenta aproximadamente 5,9 % do potencial (MW) gerado no centro de São Paulo, o que totaliza aproximadamente 5,6% da energia gerada em MW/h/dia, com relação também ao centro de São Paulo.

TABELA 4. Produção Municipal de metano a partir de biogás de aterro.

Metodologia IPCC/CETESB	População Urbana	Lixo (ton/dia)	Emissão CH <sub>4</sub> * (ton/dia)	Emissão CH <sub>4</sub> * (m <sup>3</sup> /dia)	Emissão CH <sub>4</sub> * (m <sup>3</sup> /hora)	Potencial (MW)	Energia (MW/h/dia)
São José dos Campos/SP	629.921	251,97	9,31	13.322,96	555,12	1	22
São Paulo/SP	11.253.503	4.501,40	166,37	238.014,00	9.917,25	17	394

\*Considerar para esta tabela que a concentração de metano (CH<sub>4</sub>) no biogás = 50%.

Fonte: Autoria própria baseada no IBGE - Censo Demográfico 2010.

Ao final de 2011, a EMAE atingiu 154,6 MW médios de contratos comercializados totalizando um faturamento de R\$ 131,3 milhões.

No caso da incineração, o potencial energético dependerá da composição do material enviado para sofrer combustão.

TABELA 5. Composição do RSU – Poder Calorífico Inferior.

	Proporção (%)	Poder calorífico específico (kJ/kg)	Poder calorífico proporcional (kJ/kg)
Orgânicos	48	5.706	2739
Metais ferrosos	3	0	0
Metais não-ferrosos	2	0	0
Papel	16	13941	2231
Papelão	6	13702	822
Plásticos	12	30478	3657
Vidro	2	0	0
Outros	11	6643	731
<b>TOTAL</b>	<b>100</b>	<b>-</b>	<b>10.180</b>

Obs: poder calorífico proporcional = 10.180 kJ/kg RSU = 2.431 kcal/kg RSU.

Fonte: COELHO et al, 2008.

No Brasil, como ainda há um paradigma a cerca das unidades de incineração, como se fossem unicamente danosas à saúde, a principal solução para a eliminação de resíduos ainda é o aterro sanitário, que ainda é visto como isento de resultados negativos. Todavia, a situação real é um pouco distante do que se imagina. O aterro se apresentará como única solução quando disposto em municípios pequenos e isolados, porém nas grandes metrópoles, as soluções devem ser mais diversificadas e trabalhadas em conjunto. (SANTOS e GOLÇALVES-DIAS, 2012)

TABELA 6. Quantificação dos impactos ambientais de um aterro e de uma Unidade de Recuperação de Energia (URE).

Natureza	Discriminação	URE	Aterro	
			Com queima do biogás em flare	Com queima do biogás em motor ciclo Otto
Sólidas	Cinzas (UTTRs)	dados de projeto	não existente	
Líquidas	Rejeitos do ECP (UTTRs) Chorume (Aterro)	praticamente não existente	Dados de aterros e modelos matemáticos	
Gasosas	CO <sub>2</sub>	dados de projeto	dados de projeto e metodologia IPCC	
	Metano	não existente	metodologia IPCC	
	NO <sub>x</sub>	Resolução SMA-079 e média de dados operacionais de 40 plantas existentes na Alemanha	Fatores de emissão EPA	
	CO		estudo específico	
	MP		estudos EPA e UK Environm. Agency	
	Dioxinas e Furanos		estudo específico	
	COV (HCT)		estudo específico	
	SO <sub>2</sub>		estudo Comunidade Européia	
	HCl		sem dados disponíveis	
	HF			
	Hg e compostos			
	Cd + Tl e compostos			
	Pb+As+Co+Ni+Cr+Mn+Sb+Cu+V e compostos			
Transporte	Emissões	Fatores de emissão do PROCONVE - CONAMA		
	Adensamento de tráfego, acidentes	não considerados - maiores para aterros		
Intercorrências	Incêndios, explosões, vazamentos, desmoronamentos	não considerados		
Passivo pós-encerramento		praticamente inexistente	não considerado - muito maiores para aterros	
Disamenities	Odores, impacto visual, desvalorização, ruído, presença de vetores, aves de rapina, etc.	não considerado - maiores para aterros		

Fonte: SANTOS e GOLÇALVES-DIAS, 2012.

Na tabela acima, como pode ser observado, há maior disponibilidade de informações sobre unidades de recuperação de energia do que aterros. Isto se dá pelo fato destas unidades já estarem em desenvolvimento há cerca de vinte anos na Europa. No Brasil, estas unidades ainda não se encontram disponíveis e, a única metodologia específica existente nos aterros se refere ao metano, que gera créditos de carbono. (SANTOS e GOLÇALVES-DIAS, 2012)

Mesmo com todo o cuidado, não é possível quantificar corretamente todos os impactos, como os gases de efeito estufa, como (CH<sub>4</sub> e CO<sub>2</sub>), as emissões gasosas decorrentes do transporte e outras emissões como óxidos de nitrogênio (NO<sub>x</sub>), monóxido de carbono (CO), dioxinas, furanos e metais pesados, emissões líquidas (chorume, nos aterros), rejeitos dos processos de tratamento energético (como cinzas e escórias das unidades de recuperação energética) e o adensamento de tráfego

(proporcional à longevidade do trajeto). No caso dos aterros, é necessário transbordar este material, enquanto na unidade de recuperação energética não se usa transbordo. Outros impactos relevantes são os passivos pós-encerramento (que são muito grandes para aterros, mas que não existem nas usinas de recuperação energética); as disamenities (odores, impacto visual e desvalorização do entorno) e a presença de vetores e organismos patogênicos, praticamente exclusivos de aterros. (SANTOS e GOLÇALVES-DIAS, 2012)

TABELA 7. Quantificação de emissões anuais de URE e aterro sanitário com capacidade de 1.200t/dia.

Compostos	Unidade	UTTR	Aterro (1)	
			Queima do biogás em flare	Queima do biogás em motor ciclo Otto
CO <sub>2</sub>	(t/ano)	207.966	135.732	135.732
Metano	(t/ano)	4	15.707	15.707
NO <sub>x</sub>	(t/ano)	259	121	361
CO	(t/ano)	20,8	16,1	185
MP	(t/ano)	2	7,6	7,5
Dioxinas e Furanos	(g/ano)	0,006	0,15	0,03
SO <sub>2</sub>	(t/ano)	17,1	13,8	13,8
HCl	(t/ano)	5,1	2,5	2,5
COV	(t/ano)	0,9	87,5	87,5
Chorume	(t/ano)	não aplicável	105,850	105,850
HF	(t/ano)	0,36	0,57	0,57
Cd + Ti e compostos	(t/ano)	0,004	não disponível	não disponível
Hg e compostos	(t/ano)	0,007	0,18	0,18
Pb+As+Co+Ni+Cr+Mn+Sb+Cu+V e compostos	(t/ano)	0,044	não disponível	não disponível
Cinzas leves	(t/ano)	17.500,00	não aplicável	não aplicável
Escória	(t/ano)	80.000,00	não aplicável	não aplicável

Fonte: SANTOS e GOLÇALVES-DIAS, 2012.

Com relação ao biogás gerado no aterro, é de conhecimento científico que sua produção é elevada apenas nos primeiros 10 ou 15 anos, decaindo continuamente até zerar ao longo do tempo (estima-se que a produção dure até 60 anos). O potencial de aproveitamento deste gás é de aproximadamente 70% de toda a produção de um aterro sanitário, sendo que é possível coletar em torno de 50% de todo o gás produzido em um aterro sanitário, uma vez que os outros 50% vazam para a atmosfera devido a imperfeição do encapsulamento do mesmo no aterro (nenhum equipamento de extração do gás é 100% eficiente). (SANTOS e GOLÇALVES-DIAS, 2012)

Com relação à valores de emissão, os custos totais ficam em torno de 17 milhões/ano no caso da usina de recuperação energética e em torno de 26 milhões (ou

30 milhões, quando se queima em um motor) no caso do aterro sanitário. Deduz-se então que o custo de um aterro sanitário para a sociedade pode chegar quase ao dobro de uma usina de recuperação energética, em termos de valores das emissões, conforme os problemas que as emissões causam. (SANTOS e GOLÇALVES-DIAS, 2012)

TABELA 8. Tabela comparativa: Aterro Sanitário X Incineração.

<b>Aterros Sanitários</b>	<b>Usina de Incineração</b>
<b>VANTAGENS</b>	<b>VANTAGENS</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Recebem os RSU praticamente da maneira como são recolhidos, através das estações de transbordo;</li> <li>• Dispõem o lixo de maneira adequada ambientalmente;</li> <li>• Geram biogás que pode ser capturado e aproveitado;</li> <li>• Exige a captura e o tratamento do "chorume"</li> <li>• Emissão de carbono é distribuída no tempo, uma vez que o ciclo de vida de um aterro é de em média 40 anos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reduz 70 – 75% da massa e cerca de 90% do volume dos RSU;</li> <li>• Incentiva a triagem e reciclagem de materiais, uma vez que alguns deles não podem ser inseridos no incinerador;</li> <li>• Não exige grandes áreas como o aterro, apenas a área da usina;</li> <li>• Inexiste o "chorume";</li> <li>• Elimina emissões de CH<sub>4</sub>;</li> <li>• Gera significativa quantidade de energia elétrica, reduzindo a queima de combustíveis fósseis em termelétricas.</li> </ul>
<b>DESvantagens</b>	<b>DESvantagens</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Exige grandes áreas para implantação;</li> <li>• Impossibilita o uso da área por muitos anos após o fechamento do aterro;</li> <li>• Exige topografia adequada;</li> <li>• Provoca grande movimentação de terra e resíduos;</li> <li>• Gera menor quantidade de energia elétrica ao longo do tempo;</li> <li>• Após capacidade esgotada, exige ainda cuidados e manutenção por pelo menos 30 anos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Necessita tratamento do lixo urbano para retirada de metais, vidro, redução de resíduos de alimentos e umidade, antes do envio para incineração;</li> <li>• Emite grande quantidade de CO<sub>2</sub>, mas tais emissões podem ser compensadas com as respectivas reduções nas termelétricas;</li> <li>• Pode emitir poluentes como CO, SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub>, material particulado, dioxinas e furanos caso medidas mitigadoras não sejam tomadas.</li> </ul>

Fonte: COELHO et al, 2008.

## 2.5 Disposição Final dos Resíduos

O aumento da produção de resíduos sólidos, que resultam de lixo doméstico, comercial, industrial ou público, faz com que seja necessário reservar áreas para seu armazenamento. A falta de estudos graviométricos (composição do lixo) faz com que a solução comumente encontrada para a destinação final destes resíduos seja o aterro sanitário. (CAMPOS e CAZARINI, 2008)

Define-se como aterro o local onde resíduos sólidos são depositados de forma controlada no solo e que recebem tratamento biológico natural, em condições fundamentalmente anaeróbias. (CAMPOS e CAZARINI, 2008)

Para que um aterro de pequeno porte (20 ton/dia) seja licenciado e possa ser implantado, ele deve atender a resolução do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA) N° 404, de 11 de novembro de 2008. (vide Anexo B)

Todavia há muita polêmica em torno do melhor local para implantação de um aterro sanitário. Do ponto de vista social, por exemplo, o aterro é considerado indesejável, devido a vários fatores, como riscos de doenças, mau cheiro e degradação da paisagem. Portanto, para assegurar a saúde e o bem estar da comunidade, o poder público atua na regulação e fiscalização dos aterros, garantindo o ocasionamento de menor impacto possível ao meio ambiente. (CAMPOS e CAZARINI, 2008)

Como pôde ser observada anteriormente, a implantação de um aterro não é simples, nem rápida; e exige certo grau de conhecimento por parte daquele que o implanta. A localização mais adequada deve minimizar impactos ambientais e reduzir possíveis medidas mitigadoras que acarretem na insatisfação da comunidade. Devido à dificuldade desta decisão, o licenciamento de aterros torna-se um obstáculo devido a complexidade dos estudos de meio requeridos pelo órgão ambiental competente. (CAMPOS e CAZARINI, 2008)

Outro contratempo é a questão do chorume, o resíduo líquido oriundo da decomposição química e microbiológica dos resíduos sólidos depositados no aterro. Quando não tratado sofre processo de lixiviação no solo, transformando-se em potencial contaminante de lençóis freáticos e corpos d'água, o que acaba por comprometer a saúde da população; portanto a caracterização do chorume se faz necessária permitindo, deste modo, a avaliação de seu potencial poluidor e a enumeração das melhores soluções técnicas para prevenção e mitigação de eventuais problemas causados pela inadequada disposição de resíduos em aterros. (IFSRG, 2009)

De acordo com o exposto, o presente trabalho apresenta três formas de disposição final dos resíduos sólidos: aterros sanitários, aterros controlados e lixões; sendo que esta última forma de disposição deverá ser erradicada até 2014, de acordo com a criação da Lei nº 12.305/10.

### 2.5.1 Aterro Sanitário

O aterro sanitário é o único, dos três métodos de disposição final citados, que possui uma disposição adequada dos resíduos sólidos urbanos. Isto se deve ao fato do terreno destinado a este tipo de aterro ser previamente preparado com o nivelamento de terra e a impermeabilização da base com argila e mantas de PEAD (polietileno de alta densidade). Este tratamento diferenciado permite que o lençol freático não seja contaminado pelo chorume, que deve ser drenado e encaminhado para uma estação de tratamento de efluentes. (MONTEIRO *et al*, 2001)

Além da impermeabilização do terreno e da destinação correta do chorume, há ainda o sistema de drenagem dos gases gerados pela decomposição da parcela orgânica presente no lixo. Este sistema é responsável pela coleta do biogás (metano, gás carbônico e água) e sua posterior queima em *flare* ou, em alguns casos, beneficiamento para a geração de energia. (MONTEIRO *et al*, 2001)



FIGURA 10. Aterro Sanitário.

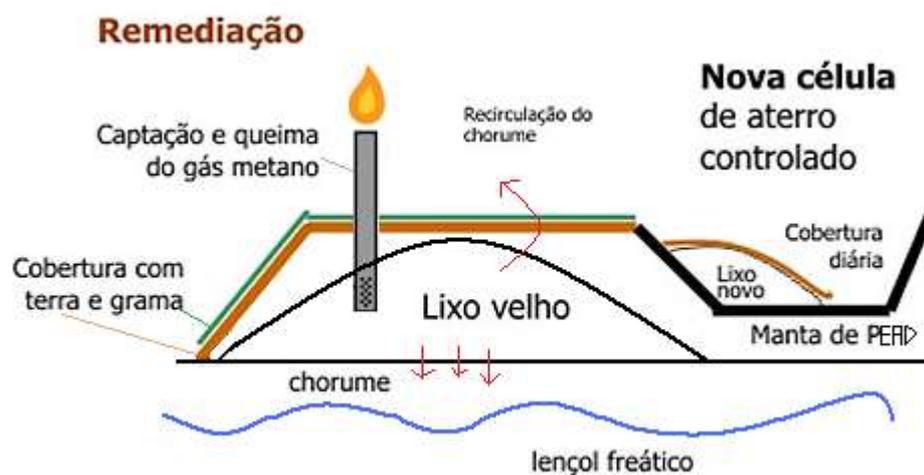
Fonte: AUTORIA PRÓPRIA.

### 2.5.2 Aterro Controlado

Aterros controlados podem ser definidos como o estado de transição do lixão ao aterro sanitário. Sendo assim, a melhor definição para aterro controlado é a de um lixão que passa por um processo de remediação. (MOREIRA e BRAGA, 2008)

Entende-se por remediação o isolamento do entorno; a cobertura do lixo exposto durante anos a céu aberto por manta de PEAD (polietileno de alta densidade), de modo que o novo chorume possa ser drenado e enviado a estações de tratamento e; a criação de um sistema de captação dos gases que se encontram acumulados em diferentes profundidades do aterro, bem como a captação dos novos gases. (MOREIRA e BRAGA, 2008)

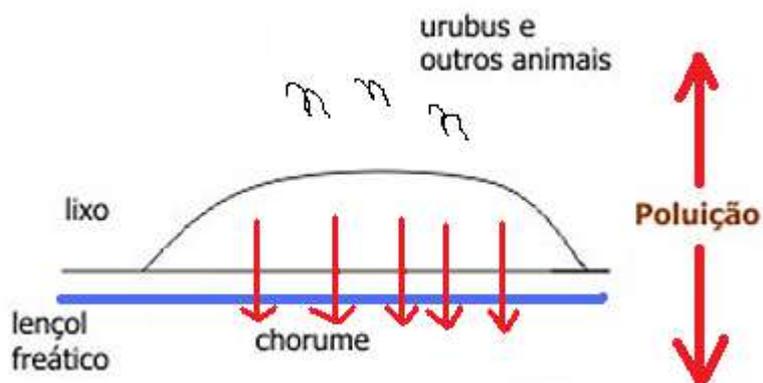
A diferença do aterro controlado e do aterro sanitário é que o primeiro só trata o chorume que vem após a implantação do sistema de controle do aterro, deixando o chorume antigo sem nenhum tipo tratamento e o sanitário já é projetado e instalado com o sistema de captação de chorume. (MOREIRA e BRAGA, 2008)



**FIGURA 11. Aterro Controlado.**  
Fonte: AUTORIA PRÓPRIA.

### 2.5.3 Lixão

O lixão é a forma mais rústica de disposição final de resíduos sólidos e consiste na simples disposição do lixo no solo sem nenhum critério técnico prévio ou qualquer tratamento, colocando em risco o meio ambiente e a saúde pública. (CAVALCANTE e FRANCO, 2007)



**FIGURA 9. Lixão a céu aberto.**  
Fonte: AUTORIA PRÓPRIA.

Como pode se notado na figura 9, há contaminação do solo e do lençol freático pela infiltração do chorume do lixo disposto sem nenhum pré-tratamento. Além deste problema ambiental há também a geração de um impasse na saúde pública, pois os gases liberados na decomposição do lixo atraem urubus e outros animais que se alimentam destes detritos e podem ocasionar doenças. (CAVALCANTE e FRANCO, 2007)

### **3. ESTUDO DE CASO: ATERRO SANITÁRIO TORRÃO DE OURO**

O presente capítulo foi inteiramente baseado no estudo de viabilidade técnica adotada como MODELO REFERENCIAL DE ENGENHARIA para o projeto da ESTAÇÃO DE APROVEITAMENTO ENERGÉTICO POR RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS (RSU) do município de São José dos Campos.

São José dos Campos é a sexta maior cidade do estado de São Paulo e localiza-se entre duas famosas rodovias que ligam São Paulo ao Rio de Janeiro: Presidente Dutra e Carvalho Pinto. Com aproximadamente 630 mil habitantes, São José dos Campos atualmente produz em média 672 toneladas de lixo por dia (desta quantia, 431 toneladas é lixo domiciliar), coletadas pela Urbanizadora Municipal S.A. – URBAM. (PSJC, 2011)

Além de fazer a coleta regular, a empresa é responsável pela destinação final dos resíduos ao aterro sanitário, que também é operado por ela. O aterro de São José dos Campos é tido como referência brasileira e, segundo o Inventário de Resíduos Sólidos Domiciliares de 2010 da CETESB, alcançou a melhor avaliação dentre os municípios paulistas. (PSJC, 2011)

Entretanto, a vida útil do único aterro que atende a toda a cidade de São José dos Campos foi avaliada em 12 anos. A Prefeitura municipal, preocupada com o esgotamento de seu único aterro, decidiu adotar medidas que permitissem a ampliação da vida útil do mesmo sem, com isso, comprometer a existência de áreas de proteção ambiental e nem adentrar o raio de segurança aeroportuária. Para que esta decisão estivesse alinhada com as práticas ambientalmente sustentáveis vigentes, decidiu-se implantar um sistema de aproveitamento energético do lixo. (PSJC, 2011)

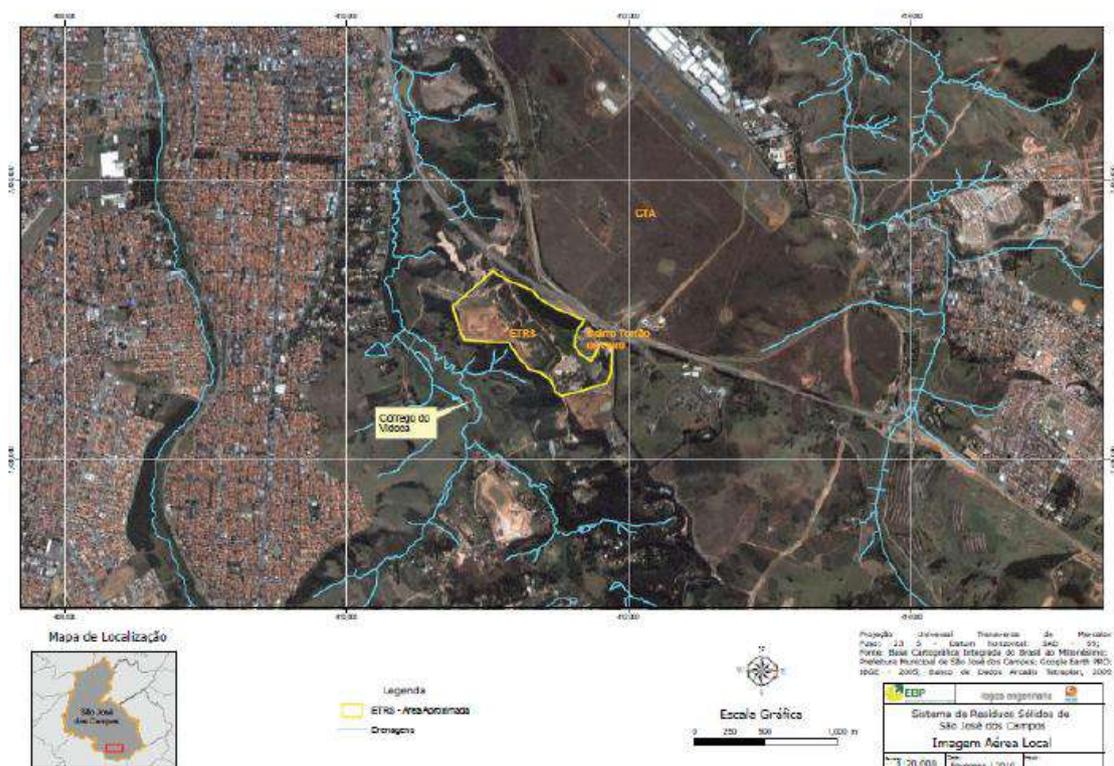
Este sistema seria constituído pela instalação de uma Usina Termoelétrica de Recuperação de Energia (turbina a gás e/ou micruturbina) que elevaria a vida útil do aterro de 12 anos para 40 anos. (PSJC, 2011)

#### **3.1 Estrutura do Aterro Sanitário Torrão de Ouro**

O aterro sanitário Torrão de Ouro pertence à Prefeitura Municipal de São José dos Campos (PMSJC) e se encontra instalado na Estação de Tratamento de Resíduos Sólidos (ETRS), no bairro Torrão de Ouro, desde 1986. Este aterro atende somente o

município de São José dos Campos. Desde que construído, sua principal finalidade foi a de dispor resíduos sólidos, particularmente lixos domiciliares. Segundo o estudo de viabilidade técnica da prefeitura de São José dos Campos, a estação possui um rigoroso controle de operação e modernos equipamentos para compactação e aterramento do lixo, o que permite a confinação segura em termos de controle de poluição ambiental, proteção à saúde pública e redução dos impactos ambientais. A estação ainda conta com a Estação de Tratamento do Biogás, que elimina a emissão do gás metano na atmosfera através de *flares*. (PSJC, 2011)

A seguir, o cartograma 3.1 de localização do aterro Torrão de ouro, em São José dos Campos, SP.



**CARTOGRAMA 3.1 Mapa de localização do aterro Torrão de Ouro.**

Fonte: Estudo de viabilidade técnica do projeto de instalação da usina de recuperação de energia em São José dos Campos.

O aterro Sanitário São José dos Campos ocupa uma área de 288.372,15m<sup>2</sup> e possui ainda uma área destinada à sua ampliação de com 161.248 m<sup>2</sup> situada em área contígua ao aterro. A capacidade total estimada para a disposição de resíduos sólidos compactados é de 2.863.669,75 m<sup>3</sup>, com proposta de cobertura diária dos resíduos com camadas de solo de 0,10m. (PSJC, 2011)

O aterro foi dividido em 3 sub-áreas, das quais somente uma atua hoje. As outras duas, no momento desativadas, aguardam o período de reativação. Este fato se deve ao mecanismo de renovação da vida útil (ligada ao tempo de decomposição/tratamento dos resíduos). No caso do aterro em estudo, após 7 ou 8 anos de uso, as sub-áreas ficam inertes por aproximadamente 14 anos, para poderem ser reutilizadas. (PSJC, 2011) A tabela 9 abaixo ilustra a situação descrita anteriormente:

Ano	Toneladas/Ano			TOTAL RSU POR ANO NO ATERRO
	Área 1	Área 2	Área 3 (I)	
	100.000 m <sup>2</sup> Vida Útil: 8 anos	103.296,39 m <sup>2</sup> Vida Útil: 7 anos	85.075,76 m <sup>2</sup> Vida Útil 7,44	
1987	96.324			96.324
1988	98.352			98.352
1989	99.366			99.366
1990	100.380			100.380
1991	103.422			103.422
1992	99.366			99.366
1993	102.408			102.408
1994	100.380			100.380
1995		100.000		100.000
1996		144.414		144.414
1997		157.160		157.160
1998		175.548		175.548
1999		152.377		152.377
2000		139.390		139.390
2001		150.909		150.909
2002			142.144	142.144
2003			132.778	132.778
2004			139.736	139.736
2005			142.832	142.832
2006			148.990	148.990
2007			151.610	151.610
2008			190.268	190.268
2009 (2)	127.345		77.389	204.734
<b>TOTAL</b>	<b>927.345</b>	<b>1.019.798</b>	<b>1.253.093</b>	<b>3.072.888</b>

Observações:

1) A área 3 recebeu resíduos em 2009\* até 08/06/09.

2) A Área 1 voltou a receber resíduos a partir de 09/06/09 conforme LO 57000163.

Fonte: ETRS Dados Gerais - URBAM, Março/2010

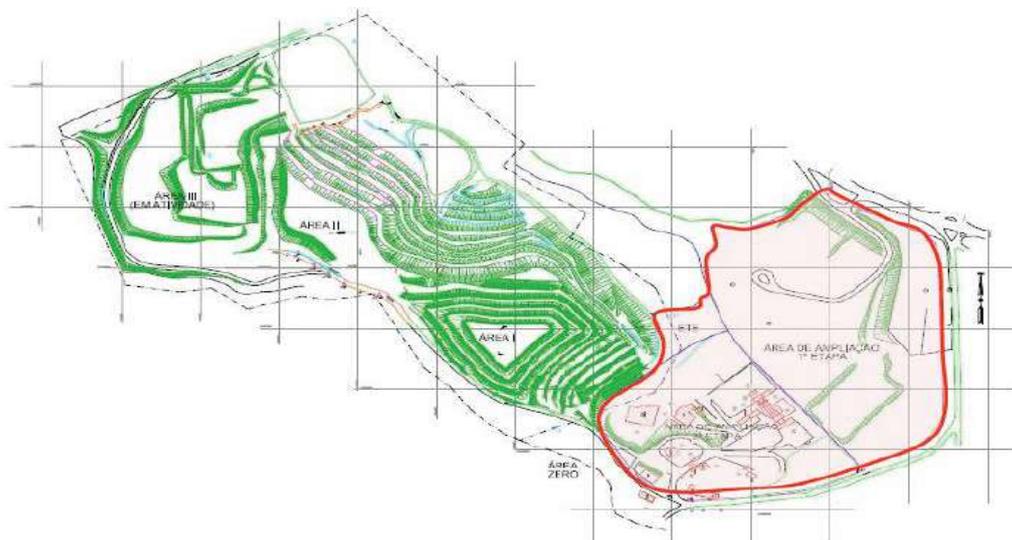
**TABELA 9. Quantidade Total (em toneladas) de Resíduos Sólidos Urbanos Coletados por Ano em São José dos Campos e Destinados ao Aterro Sanitário.**

Fonte: Estudo de viabilidade técnica do projeto de instalação da usina de recuperação de energia no aterro Torrão de Ouro.~

A ETRS possui licença ambiental de Operação nº 570.003.000 expedida pela SMA/CETESB. A parcela do terreno da ETRS destinada à ampliação do aterro está em processo de licenciamento para instalação. (PSJC, 2011)

A área total do ETRS do aterro atual e a área prevista para ampliação estão ilustradas no cartograma 3.2 abaixo. Cabe mencionar que em parte da área prevista para

ampliação do aterro existe um bairro cujos residentes foram removidos em sua totalidade. (PSJC, 2011)



**CARTOGRAMA 3.2** Planta Detalhada da Estação de Tratamento de resíduos sólidos (ETRS).  
Fonte: Estudo de viabilidade técnica do projeto de instalação da usina de recuperação de energia no aterro Torrão de Ouro.

A área prevista para implantação da planta de tratamento dos Resíduos Sólidos Urbanos de São José dos Campos está situada em área adjacente a atual ETRS, conforme pode ser observado no cartograma 3.3:



**CARTOGRAMA 3.3** Demonstração da área total de implantação do projeto.  
Fonte: Estudo de viabilidade técnica do projeto de instalação da usina de recuperação de energia no aterro Torrão de Ouro.

### 3.2 Coleta de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU)

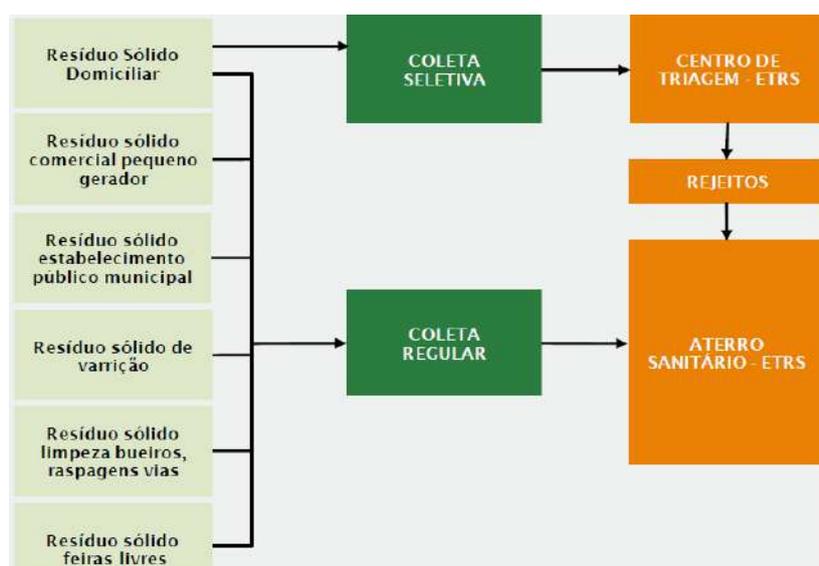
Os Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) gerados no município de São José dos Campos são coletados pela empresa terceirizada URBAM (Urbanizadora Municipal S.A.). (PSJC, 2011)

A URBAM é responsável pela coleta e destinação final de resíduos públicos e particulares. Neste ramo estão alojados, respectivamente, coleta de resíduos sólidos de estabelecimentos públicos municipais, de varrição das vias públicas, provenientes de raspagem de bueiros, provenientes de feiras-livres, resíduos domésticos, comerciais, industriais e de serviço. (PSJC, 2011)

A coleta regular é realizada três vezes por semana e a destinação final é sempre o aterro Torrão de Ouro. (PSJC, 2011)

A URBAM não faz coleta de resíduos sólidos industriais classe I (resíduos perigosos) e resíduos oriundos de Construção Civil (resolução CONAMA 307/02). Os resíduos coletados correspondem a Classe II A (não inertes) e B (inertes). (PSJC, 2011)

Os resíduos ambulatoriais da cidade de São José dos Campos são estocados provisoriamente na ETRS e posteriormente enviados para tratamento no município de Mauá.



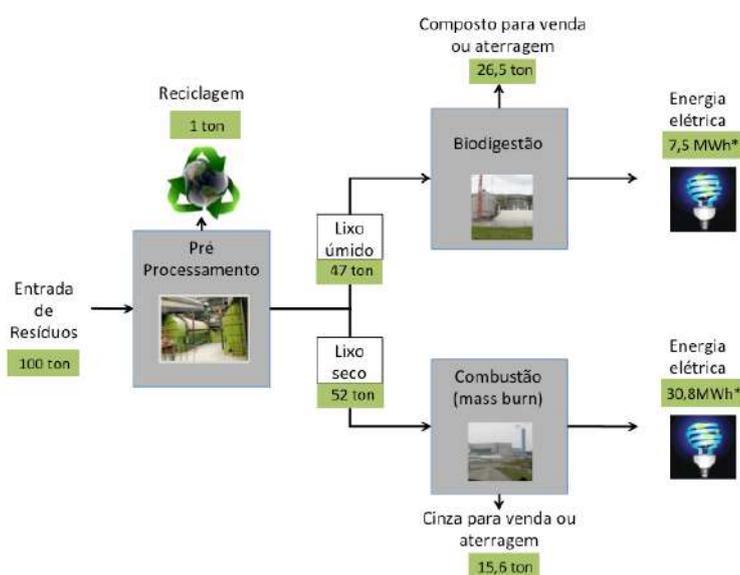
**FLUXOGRAMA 3. Origem e destino dos RSU de São José dos Campos.**

Fonte: Estudo de viabilidade técnica do projeto de instalação da usina de recuperação de energia no aterro Torrão de Ouro.

### 3.3 Tratamento dos Resíduos Sólidos Urbanos (RSU)

A Estação de tratamento de Resíduos Sólidos (ETRS) está localizada na região sul do Município de São José dos Campos, na Rua Torrão de Ouro, s/nº, no Bairro Torrão de Ouro em São José dos Campos, no Estado de São Paulo e apresenta uma proposta de implantação de usina termoeletrica. (PSJC, 2011)

Como alternativa paralela à incineração, observa-se a biodigestão, que também gera energia elétrica, embora em menor quantidade, como pode ser observado no fluxograma 4.



**FLUXOGRAMA 4. Taxa de conversão dos resíduos sólidos urbanos em energia.**

Fonte: Estudo de viabilidade técnica do projeto de instalação da usina termoeletrica no aterro Torrão de Ouro.

Os dados extraídos do fluxograma 4 foram retirados do estudo de viabilidade técnica do projeto de instalação da usina termoeletrica no Aterro Torrão de Ouro em São José dos Campos e faziam parte de um capítulo de estimativa da energia que poderia ser gerada a partir de diferentes tecnologias, bem como a comparação entre elas. (PSJC, 2011)

A partir dos dados fornecidos, é observado que, a cada 100 toneladas de resíduos que entram neste aterro, 1 tonelada pertence ao lixo reciclável, 47 toneladas pertencem ao lixo úmido que será biodigerido anaerobicamente formando composto e gerando

energia elétrica e 52 toneladas pertencem ao lixo seco que são incinerados e geram energia elétrica e cinzas que devem ser aterradas. (PSJC, 2011)

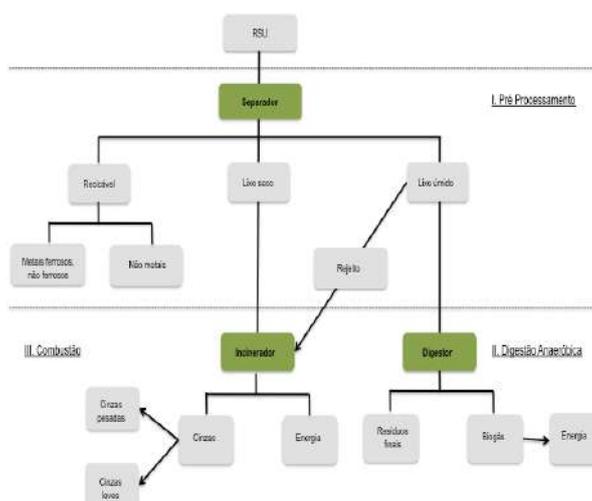
Como em São José dos Campos há geração de 672 toneladas de resíduos sólidos urbanos por dia, a taxa de 52% de lixo seco equivale a, aproximadamente, 349,5 toneladas de lixo seco por dia, que gerariam hipoteticamente cerca de 291MWh de energia enquanto produziriam aproximadamente 108,5 toneladas de cinzas. Ainda neste contexto e, em comparação a esta metodologia, se observa a taxa de 47% de lixo úmido produzido por dia no mesmo aterro, o que equivale a 316 toneladas de lixo úmido, os quais seriam capazes de gerar 50,45MWh de energia e produzir 316 toneladas de composto. Ainda no mesmo município, sob a taxa de 1%, há aproximadamente, 6,5 toneladas de materiais recicláveis gerados por dia, que podem ser comercializados assim que restaurados. (PSJC, 2011)

Tabela 10. Taxa de conversão de resíduos sólidos urbanos em Energia.

672 ton/dia	349,5 ton lixo seco	316 ton lixo úmido	6,5 ton recicláveis
	52%	47%	1%
100%	108,5 ton cinzas	181,5 ton de composto	—————
	291MWh	50,45 MWh	—————

Fonte: Autoria Própria.

Como ilustrado abaixo no fluxograma 5, as etapas principais da gestão dos resíduos estão divididas no Pré-processamento, na Digestão Anaeróbica (Biodigestão: geração de biogás e composto) e na Combustão de Resíduos (Incineração). (PSJC, 2011)



**FLUXOGRAMA 5. Tratamento dos resíduos sólidos urbanos.**

Fonte: Estudo de viabilidade técnica do projeto de instalação da usina de recuperação de energia no aterro Torrão de Ouro.

### 3.3.1 Pré-processamento (Reciclagem)

O objetivo da etapa de pré-processamento é separar os componentes orgânicos e as frações recicláveis dentre material recebido e direcionar os mesmos a reciclagem (material reciclável), compostagem (material úmido) ou incineração (material seco). (PSJC, 2011)

Os resíduos trazidos pela transportadora são direcionados à área de recebimento/estocagem do lixo, onde terão seu fluxo controlado e sua correta estocagem, de modo que a quantidade de lixo enviada a próxima etapa (fracionamento de resíduos através de trituradores mecânicos) seja sempre a mesma independente do dia e período (de noite e finais de semana a URBAM não transporta lixo). (PSJC, 2011)

A segunda etapa é a trituração mecânica dos resíduos, que é realizada para melhorar o fluxo do processamento. (PSJC, 2011)

A terceira etapa é composta pela triagem grossa: uma peneira vibratória ou um cilindro rotativo classificam o lixo de acordo com o tamanho das partículas, que é ajustado por meio de telas/grades de diferentes tamanhos. No cilindro rotativo/peneira vibratória será adicionado um triturador de sacos para rasgar os sacos plásticos e fracionar os resíduos. Após este processo se faz necessária a instalação de uma estação de remoção de plástico filme, para impedir o entupimento das telas. Esta remoção pode ser realizada manualmente ou através de um aparelho de sucção de ar. (PSJC, 2011)

A quarta etapa é composta pela triagem fina. Através de uma tela de cilindro ou disco, o lixo é separado em frações menores. (PSJC, 2011)

A quinta etapa é a estação de controle de qualidade. Esta estação é projetada para fornecer locais de observação visual e através disso, realizar a triagem manual de objetos que passaram pelas telas/grades e que não deverão ser utilizados nos equipamentos seguintes (por ter o poder de danificar ou diminuir a eficiência dos equipamentos). (PSJC, 2011)

A sexta etapa é composta de um sistema de remoção de materiais ferrosos e não ferrosos. (PSJC, 2011)

Os enfardadores compõem a sétima etapa. São equipamentos utilizados para compactar materiais recuperados para enviar à estocagem e despachos fora do local.

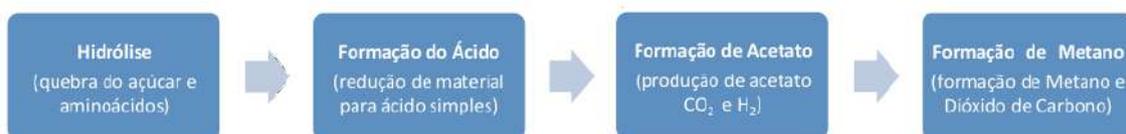
A oitava e última etapa é o transporte das frações separadas até as áreas de estocagem das próximas etapas. Este transporte é feito através de esteiras. (PSJC, 2011)

O primeiro destino das esteiras é a reciclagem. Em relação a este quesito, São José dos Campos é uma cidade de referência nacional, possuindo um projeto que demanda esforços para manter seu lugar garantido no pódio. O projeto “São José Recicla” engloba visitas técnicas ao aterro (“lixo tour”), blitz de conscientização, teatro de fantoches, mutirão de limpeza e palestras de educação ambiental intituladas “Educação para o consumo”, que contém seu material de educação ambiental divulgado no site da prefeitura da cidade. (PSJC, 2011)

### 3.3.2 Biodigestão (Digestão Anaeróbica)

O biodigestor é um equipamento que possui uma cobertura de membrana de policloreto de vinila (PVC), que recebe carga diária de efluentes, favorece a decomposição dos dejetos, retém o gás e provoca sua combustão, gerando energia para a propriedade, eliminando odores e possíveis parasitas. O biodigestor é um reator químico de origem biológica, utilizado para a digestão anaeróbia da matéria orgânica úmida enviada a este setor. O resultado deste processo é o biogás, uma mistura de gases (metano-60%- e carbônico – 40%) produzida por bactérias que digerem a matéria orgânica em condições anaeróbicas. (PSJC, 2011)

A biodigestão é composta por quatro operações bioquímicas: hidrólise acidogênese, acetogênese e fermentação. Estas devem ser controladas metodicamente, pois são as condições ambientais do reator (temperatura, quantidade de água, teor de sólido, pH e presença de substâncias tóxicas) as responsáveis pela maximização da geração de biogás e do índice de decomposição da matéria orgânica. (PSJC, 2011)



**FLUXOGRAMA 6. Processo de maximização da Geração de Biogás.**

Fonte: Estudo de viabilidade técnica do projeto de instalação da usina de recuperação de energia no aterro Torrão de Ouro.

Das condições ambientais, o quesito temperatura se resume a escolha entre temperatura mesófila (entre 30 e 35 graus) e termófila (entre 50 e 65 graus). Na primeira opção há uma maior diversidade de bactérias, o que gera uma maior estabilidade e menor influencia do meio sobre o resultado final. Já a segunda opção gera um resultado

mais rápido e eficaz que a primeira, mas o processo de produção é bem instável. (PSJC, 2011)

De acordo com a funcionalidade hidráulica do biodigestor, outro fator que precisa ser controlado rigorosamente é a quantidade de água. Matérias orgânicas com baixa umidade, por exemplo, necessitam de um acréscimo de água para que se atinja uma relação propícia. (PSJC, 2011)

Ainda comentando sobre as condições ambientais, o teor de sólido influenciará na alimentação do digestor. Em um sistema úmido, a alimentação do digestor consistirá na suspensão de materiais orgânicos, com aproximadamente 5-6% de sólidos. Para que se possa produzir tal suspensão, deve-se adicionar água ao resíduo orgânico. Na ocorrência de formação de espuma, adiciona-se algum aditivo químico no reator. Já em sistemas secos, o teor de sólido operacional é varia entre 20-40%. Nesta situação, o resíduo é peneirado para remover objetos grandes (maiores que 40 ou 50 mm) e tratado com lama digerida (sólidos orgânicos parcialmente estabilizados) para que a inoculação de bactérias anaeróbicas se torne viável. (PSJC, 2011)

Sobre o controle do pH, salienta-se que é extremamente vital ao processo de biodigestão, uma vez que as bactérias que transformam os ácidos orgânicos em biogás (metanogênicas) são eliminadas em pH extremamente ácido.

Sobre o controle de substâncias tóxicas, diz-se que, em situações cuja sua presença nociva não for erradicada, todo o processo de produção de biogás ficará comprometido, pois as bactérias decompositoras não convivem com estas substâncias. (PSJC, 2011)

A atividade biológica dentro do digestor não degrada totalmente a biomassa enviada a ele, o que resulta em um acúmulo de material inerte (lodo) em seu interior; material este que deve ser constantemente removido. Porém, para que este processo seja realizado de forma eficaz, a lama digerida deverá ser processada antes do descarte final. O pré-tratamento antes do descarte no sistema de saneamento é necessário devido às elevadas concentrações da demanda química de oxigênio (DQO) e amônia. (PSJC, 2011)

É importante frisar que o índice de produção de biogás varia dependendo do teor de matéria orgânica e da digestividade do resíduo, mas normalmente é encontrado na faixa de 100-120 Nm<sup>3</sup> por toneladas de lixo processado. (PSJC, 2011)

Após ser gerado através da biodigestão anaeróbica da matéria orgânica presente nos resíduos sólidos, realizadas por bactérias metanogênicas, o biogás é encaminhado

dos drenos do sistema de captação até o sistema de tratamento, que consiste de um conjunto de filtros para a remoção de gotículas de condensado e material particulado e uma tubulação para queima (oxidação térmica) controlada em *flares*. (PSJC, 2011)

O biogás produzido pelos biodigestores anaeróbios consiste principalmente de metano (60%) e dióxido de carbono e pode vir a ser utilizado como combustível para gerar energia elétrica e calor, através de motores ou micro-turbinas; ou também ser tratado com o intuito de se aumentar o teor de metano (é feito com a retirada de CO<sub>2</sub>) para concentrações acima de 90%, alcançando os padrões de qualidade do gás natural. (PSJC, 2011)

O material não utilizado para a geração de biogás é desumidificado, prensado e maturado aerobicamente com a finalidade de formar um composto seco com pH levemente básico e com alto valor fertilizante que pode até mesmo ser utilizado na correção de solos ácidos. Esta matéria, chamada de composto orgânico, possui níveis de metais pesados abaixo dos limites permitidos e não é fitotóxico. Este material caso não utilizado comercialmente pode ser descartado normalmente em aterro sanitário. (PSJC, 2011)

### **3.3.3 Incineração (Combustão)**

O processo de incineração teve origem em 1874, com a construção de uma incineradora na cidade de Nottingham, na Inglaterra. Nesta época o conceito de incineração era sinônimo de equilibrar economicamente o ambiente; Hoje este conceito se baseia em centrais de geração de eletricidade e energia a partir da incineração. Esta mudança deu-se devido às exigências ambientais e à necessidade de se recuperar energia em forma de calor. O objetivo da incineração, desde os primórdios, sempre foi o de reduzir a quantidade de lixo que era enviada para o aterro e, com este equipamento conseguia-se uma redução de 50% de seu peso original e 95% de seu volume. (GOMES e DINIS, 2005)

O processo de incineração é realizado em altas temperaturas (1000°C – 1100°C), de forma a tornar eficaz uma porcentagem elevada da destruição de resíduos (oxidação térmica); mesmo que estes resíduos estáveis e de difícil quebra. Esta alta taxa de destruição é verificada facilmente de acordo com o tempo de residência dos gases (superior a 2 segundos). Os incineradores devem funcionar durante todo o dia (24

horas), sem nenhuma interrupção (mesmo que momentânea), para que não se emita os produtos dessa reação, de forma prejudicial, ao meio ambiente. Ademais, os equipamentos de remoção de poeira e metais pesados (filtros das chaminés) têm de ser, obrigatoriamente, bem projetados, pois é de única responsabilidade deles o controle dos gases, oriundos da queima, que circularão na atmosfera. Tais gases devem ser tratados e monitorados sob os parâmetros: vazão, temperatura, níveis de O<sub>2</sub>, CO e também índices de NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub> e material particulado. (GOMES e DINIS, 2005)

Se tais aspectos não forem respeitados em incineradores, haverá existência de emissões de compostos perigosos como a dioxina e furanos (cancerígenos). A elevada concentração destes compostos na atmosfera, pode ser transmitida ao homem e aos animais via inspiração do ar ou via introdução na cadeia alimentar, acarretando em sobressalto público justificado. (GOMES e DINIS, 2005; LEMOS, 1997)

A incineração também gera subprodutos úteis. São eles: calor para geração de vapor, recuperação de energia e venda de eletricidade; cinzas potencialmente reutilizáveis e metais ferrosos e não ferrosos recuperados (efluentes líquidos). (LEMOS, 1997)

As cinzas são divididas em cinzas de fundo e cinzas leves. As cinzas de fundo (bottom ash) provenientes do processo de incineração dos resíduos sólidos devem ser coletadas e após um processo de resfriamento, armazenadas em silos. Esta matéria pode ser utilizada como material para fundações civis ou também como matéria base para rodovias. (GOMES e DINIS, 2005; LEMOS, 1997)

Já as cinzas leves (fly ash), agregadas com resíduo dos absorvedores, devem ser misturadas e armazenadas em “big-bags”, onde endurecem e, posteriormente, são estocadas em local apropriado (aterro específico). (GOMES e DINIS, 2005; LEMOS, 1997)

Os metais ferrosos e não ferrosos recuperados são destinados ao setor de materiais reciclados estratificados e são reaproveitados. (ABRELPE, 2011).

Os resíduos não passíveis de incineração são aqueles que apresentam propriedades radioativas, são provenientes de resíduos hospitalares ou tem sua constituição totalmente orgânica. (LEMOS, 1997)

### **3.4 Geração, Distribuição e Comercialização de Energia Elétrica**

Segundo ROSA (2007), “Usinas termoelétricas são unidades de geração de eletricidade através da utilização de máquinas térmicas, que fazem a conversão de parte da energia contida em um combustível para a energia elétrica”.

A implantação da Usina Termoelétrica Torrão de Ouro (UTE – Torrão de Ouro) está sendo estudada pela Prefeitura Municipal de São José dos Campos em parceria com a Arcadis Tetraplan S. A. (empresa responsável pelo EIA/RIMA do local estudado), com a finalidade de realizar a operação e manutenção (O&M) da UTE-Torrão de Ouro, que será construída na Estação de Tratamento de Resíduos Sólidos (ETRS) e terá como objetivo o aproveitamento do potencial energético da queima de resíduos sólidos urbanos enviados ao aterro e do biogás proveniente da biodigestão de compostos úmidos. (PSJC, 2011)

A UTE-Torrão de Ouro terá capacidade máxima de produção de 650 kW/h de energia por tonelada de lixo. Desta quantia, 15% de energia elétrica bruta, é utilizada para suprir as necessidades internas de instalação e o restante é vendida para as empresas de distribuição. (PSJC, 2011)

Conforme o estudo de viabilidade econômica desenvolvido pela ARCADIS (empresa terceirizada de consultoria contratada para realizar o estudo do meio), projeta-se que a cada 20 MW de energia produzidos pela UTE Torrão de Ouro, seria possível abastecer uma cidade com cerca de 350.000 habitantes (praticamente metade dos habitantes de São José dos Campos). (PSJC, 2011)

O sistema de distribuição elétrica deverá ser previsto com a redundância e confiabilidade necessária para fornecer energia elétrica para toda a instalação. Os sistemas elétricos serão projetados com ênfase especial no local e nas condições do ambiente da instalação (incidências de raios, umidade, chuva e ataques químicos do processo). (PSJC, 2011)

A localização das fornalhas, caldeiras, equipamentos de controle de poluição do ar e equipamentos de manuseio de cinzas serão considerados ambientes corrosivos e a resistência à corrosão deverá ser levada em consideração. Todos os centros de controle dos motores e comandos elétricos estarão localizados em salas equipadas com controle climático.

O sistema de interconexão elétrica deverá ser previsto para atender às exigências da concessionária de energia elétrica. O projeto da interconexão deverá ser coordenado com os requisitos do sistema elétrico. (PSJC, 2011)

Para a comercialização da energia elétrica, um “banco fiador” tem de conseguir permissão da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) para poder comercializar a energia produzida pela UTE-Torrão de Ouro. Com esta autorização, o banco torna-se habilitado a vender 50% da energia produzida. Este banco também deve fechar contratos com agentes listados na Câmara de Comercialização de Energia elétrica (CCEE) se quiser vender a energia excedente produzida. (ANEEL, 2008)

A melhor sugestão de geração de energia elétrica que atenda ambas as partes envolvidas no acordo (“banco fiador” e a EDP Bandeirante - empresa de prestação de serviços públicos de energia elétrica à São José dos Campos) é a geração distribuída, pois o mesmo volume de fornecimento é creditado às partes envolvidas. (PSJC, 2011)

### **3.5 Estudo de viabilidade técnica**

A atual situação da disposição, tratamento e destinação final dos Resíduos Sólidos Urbanos no Brasil tem se agravado, especialmente no que se refere à poluição dos recursos naturais e aos problemas de saúde pública advindos desta. (PSJC, 2011)

O uso do aterro sanitário surgiu como uma alternativa de minimização destes problemas, estando sempre conectado a disponibilidade de áreas para aterrar os resíduos; todavia, nem sempre estas áreas tinham a capacidade de realmente tratar os resíduos sólidos ali dispostos sendo que, a maior parte, é somente depositada no local e coberta por uma camada de terra. (PSJC, 2011)

Atualmente enfrentamos também o problema da escassez de áreas e do esgotamento da vida útil de muitos aterros. Porém há fatores que vêm estimulando a busca de novos processos tecnológicos para tratamento dos resíduos sólidos em substituição ao aterro como, por exemplo, o aumento do papel fiscalizador dos órgãos de controle ambiental que vem interditando aterros controlados; ou a criação de legislação específica para o tema com oportunidades para linhas de crédito específicas para tratamento dos resíduos; ou ainda a evolução tecnológica onde os resíduos são utilizados como insumos para gerar sub-produtos. (PSJC, 2011)

Enfim, o panorama é favorável para que o tratamento dos resíduos sólidos no Brasil passe a ser uma realidade. Esta situação começa a ser delineada quando se avalia os instrumentos legais diretamente associados aos temas estão em processo de aprovação ou já aprovados, sendo:

- Política Nacional de Resíduos Sólidos – Lei nº 12.305/10
- Política Estadual de Resíduos Sólidos: regida pela Lei Estadual nº 12.300 de 16/03/2006.

No âmbito do Estado de São Paulo, a gestão dos resíduos sólidos tem melhorado no quesito destinação final. No final da década de 90 eram geradas e destinadas para locais adequados, 11% do total de 19 mil toneladas produzidas por dia. Já no final da primeira década do ano de 2000, cerca de 80% das 29 mil toneladas de resíduos sólidos urbanos produzidos diariamente foram destinados para locais adequados, conforme dados dos Inventários estaduais de Resíduos Sólidos publicados pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo - CETESB. (PSJC, 2011)

É neste contexto que o município de São José dos Campos propõe-se a estudar a viabilidade de novas tecnologias para tratar seus resíduos sólidos urbanos e manter como altos, os índices aplicados ao seu aterro sanitário (no caso, o Índice de Qualidade do Aterro - IQR da CETESB). (PSJC, 2011)

O desenvolvimento da etapa de Viabilidade Técnica foi fundamentado em uma avaliação geral das possíveis soluções tecnológicas disponíveis mundialmente que poderiam ser aplicadas à realidade de São José dos Campos. O resultado demonstrou que a melhor alternativa para a realidade estudada contemplava um mix de processos e equipamentos, que podem ser customizados de acordo com a realidade do município. (PSJC, 2011)

### **3.6 Estudo de viabilidade sócio-ambiental**

O presente item foi inteiramente baseado no estudo de viabilidade sócio-ambiental apresentado como projeto da ESTAÇÃO DE APROVEITAMENTO ENERGÉTICO POR RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS (RSU) do município de São José dos Campos.

A viabilidade sócio-ambiental é medida de acordo com o levantamento de dados locais sobre os problemas sócio-ambientais que serão ocasionados pela implantação da unidade de recuperação de energia. (PSJC, 2011)

De acordo com este estudo, adverte-se:

A qualidade do ar deve atender o padrão de emissão atmosférica conforme exigências da Resolução SMA 079/09 e Decreto Estadual 52.469/07 e deve haver monitoramento contínuo das emissões atmosféricas de acordo com as exigências legais vigentes. (PSJC, 2011)

A geologia local deve ser calcada em sondagens que caracterizem a resistência do subsolo. A partir deste estudo, as medidas cabíveis devem ser tomadas para que a capacidade de suporte do terreno à obra que será implantada permaneça estável. (PSJC, 2011)

Os recursos hídricos devem ser avaliados de acordo com as condições de exploração e funcionamento de poços regionais *versus* as condições de consumo da planta. Para garantir as condições operacionais do empreendimento, deve-se monitorar periodicamente a infra-estrutura. (PSJC, 2011)

A supressão de exemplares arbóreos nativos isolados, em lotes urbanos situados fora de Áreas de Preservação Permanente (APP), necessita de autorização do órgão municipal competente. (PSJC, 2011)

A implantação de cercas-vivas ao redor da área para contenção de animais sinantrópicos e silvestres de porte médio a grande é necessária e deve ser aliada a implantação de cercas galvanizadas. Sempre que possível dar preferência na contratação de serviços, insumos e mão de obra local. (PSJC, 2011)

#### 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

No Brasil a geração de energia elétrica ainda é essencialmente hidráulica. Este fato se deve a um antigo paradigma de que as unidades de incineração são prejudiciais à saúde enquanto que os aterros sanitários são a solução correta. Esta visão simplista se fundamenta no fato de que o que não pode ser observado não causa incômodo.

A realidade é que, não há apenas uma única alternativa para o tratamento e disposição final dos resíduos sólidos, ou seja, é como se cada alternativa de tratamento de resíduos sólidos urbanos (RSU) apresentada neste trabalho correspondesse a um órgão vital de nosso organismo. Eles funcionam bem sozinhos e até apresentam certa autonomia dentro de um micro sistema. Porém, quando o funcionamento de todos os micros sistemas é unido em um único sistema maior, maiores benefícios podem ser contemplados.

A proposta deste trabalho é que as diferentes alternativas de tratamento de resíduos apresentadas sejam analisadas em **conjunto**, pois o problema dos RSU não pode ser resolvido com apenas um dos setores apresentados (reciclagem, produção de biogás, gaseificação, incineração, aterramento...), e sim através da integração setorial de todos eles.

O aterro Torrão de Ouro, localizado no Município de São José dos Campos se encontra perto de atingir a capacidade máxima de aterramento e o projeto apresentado pelo município em resposta a tal impasse é a implantação de uma usina termoelétrica. Considerando o fato da reciclagem deste município estar em evidência como um modelo a ser seguido e, acrescentando o fato da instalação desta usina termoelétrica estar fora do caráter emergencial (65% do lixo produzido é domiciliar e não apresenta periculosidade), recomenda-se como melhor alternativa integrar estes dois sistemas (reciclagem e incineração), associando-os a outras formas de gerar energia.

Uma alternativa boa seria a partir da análise granulométrica (estudo de caracterização dos resíduos sólidos existentes no lixo, com a porcentagem de cada setor - orgânico, reciclável, biodegradável...) enviando cada resíduo ao seu devido setor: os recicláveis deverão ser enviados para o respectivo setor de reciclagem e, após tratamento, podem ser comercializados; O material orgânico deverá ser compostado em um sistema com captura de gases que, preferencialmente, siga em um processo de beneficiamento (biogás), gerando energia elétrica; E a parte seca não reciclável deverá

ser encaminhada à incineração, onde o processo de combustão também gera energia. O seguimento deste processo se daria pelo aterramento do material resultante da incineração, que é composto apenas por 10% da sua massa e volume originais. Com esta redução de material a ser aterrado, estima-se um aumento de vida útil do aterro em até 40 anos.

**REFERÊNCIAS:**

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS.

\_\_\_\_\_. NBR 10.004: **Resíduos sólidos: classificação**. São Paulo, 2004.

\_\_\_\_\_. NBR 11.174: **Armazenamento de resíduos classes II (não inertes) e III (inertes) procedimento**. São Paulo, 1990.

ABRELPE. Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. **Panorama dos Resíduos Sólidos, 2010**. 202 pgs. São Paulo, 2011.

ALENCAR, M. M. M. **Reciclagem de lixo numa Escola Pública do Município de Salvador**. Candombá Revista Virtual 1, v.1, n. 2, p. 96-113. 2005.

ALMEIDA, Ivo Torres de; **A poluição atmosférica em material particulado por mineração a céu aberto**. Dissertação de Mestrado. São Paulo, 1999.

ALVES, J. W. S. **Diagnóstico técnico institucional da recuperação e uso energético do biogás gerado pela digestão anaeróbia de resíduos**. Dissertação de Mestrado. São Paulo, 2000.

ANEEL. **Agência Nacional de Energia Elétrica. Manual do programa de pesquisa e desenvolvimento tecnológico do setor de energia elétrica**. Brasília, 2008.

ARBEX, M. A. **Avaliação dos efeitos do material particulado proveniente da queima da plantação de cana-de-açúcar sobre a morbidade respiratória na**

**população de Araraquara, SP.** Tese de doutorado apresentada à Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2003.

ARCHER, E.; BADDELEY, A.; KLEIN, A.; SCHWAGER, J.; WHITING, K.; **Mechanical Biological Treatment: a guide for decision makers processes, policies e markets.** Juniper Consultancy Services, 2005.

BAYARD, R.; MORAIS, J. de A; DUCOM, G.; ACHOUR, F.; ROUEZ, M.; GOURDON, R. Assessment of the effectiveness of an industrial unit of mechanical–biological treatment of municipal solid waste. **Journal of Hazardous Materials**, 175pgs, 2009.

BRAGA, ALFESIO; PEREIRA, LUIS ALBERTO, AMADOR; SALDIVA, PAULO HILÁRIO NASCIMENTO. **Poluição Atmosférica e seus Efeitos na Saúde Humana.** Faculdade de Medicina da USP, São Paulo, 2008.

BRINGHENTI, J. R. **Programas de Coleta Seletiva de Resíduos Sólidos Urbanos: Aspectos Operacionais e da Participação da População.** 2004. Tese (Doutorado em Saúde Pública) – Faculdade de Saúde Pública da USP, São Paulo, 2004.

CAIXETA, D. M. **Geração de energia elétrica a partir da incineração de lixo urbano: o caso de Campo Grande/MS.** Monografia de especialização. Brasília, 2005.

CAMPOS, V. R.; CAZARINI, E. W.; **Estudo dos critérios de decisão para localização de aterro sanitários para auxiliar na avaliação de impactos ambientais.** Trabalho científico apresentado no 3º Simpósio Ibero-americano de Engenharia de Resíduos. 2º Seminário da Região Nordeste sobre Resíduos Sólidos, 2008.

CASTANHO, A. D. de A.; **A determinação quantitativa de fontes de material particulado na atmosfera da cidade de São Paulo**. Dissertação apresentada ao Instituto de Física da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Mestre em ciências. São Paulo, 1999.

CASTRO, R. M. G.; **Energias renováveis e produção centralizada: Introdução à cogeração**. Trabalho desenvolvido no instituto superior técnico da Universidade Técnica de Lisboa, onde o autor é docente. Lisboa, 2009.

CAVALCANTE, S.; FRANCO, M. F. A.; **Profissão perigo: percepção de risco à saúde entre os catadores do Lixão de Jangurussu**. Revista Mal-estar e Subjetividade, Fortaleza. Vol. VII, nº 1, p. 211-231, 2007.

CENBIO. Centro Nacional de Referência em Biomassa. **Projeto Instalação e Testes de uma Unidade de Demonstração de Geração de Energia Elétrica a partir de Biogás de Tratamento de Esgoto – ENER-G-BIOG**. Relatório Técnico Final. São Paulo, 2005.

CETESB. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. **Inventário de Resíduos Sólidos Domiciliares**. São Paulo, 2010.

CLEMENTINO, L. D. **A Conservação de energia Por Meio da Co-Geração de Energia Elétrica**. São Paulo, 2001.

COELHO, S. T.; VELÁZQUEZ, S. M. S. G.; APOLINÁRIO, S. M.; LORA, B. A. **Geração de eletricidade em comunidades isoladas da região amazônica utilizando sistemas nacionais de gaseificação de biomassa in natura**. Brasília, 2006.

COELHO, S. T.; PARO, A. de C.; F. C. da. Estudo Comparativo para o tratamento de resíduos sólidos urbanos: Aterros Sanitários X Incineração. **Revista Brasileira de Energia**, Vol. 14, No. 2, pp. 113-125, 2008.

COELHO, S. T.; CORTEZ, C.; PECORA, V. **Aproveitamento energético dos Resíduos Sólidos**. Terceiro encontro técnico latino americano de alto nível sobre gestão de resíduos sólidos. São Paulo, 2011.

COLLINS, L. G.; HAINES, C.; PERKEL, R.; ENCK, R. E. **Lung cancer: diagnosis and Management**. Am Fam Physician, vol. 75, pp. 56-63, 2007.

CORTEZ, C. L. **Estudo do potencial de utilização da biomassa resultante da poda de árvores urbanas para a geração de energia: Estudo de caso: AES Eletropaulo**. Universidade de São Paulo. Programa de pós-graduação em energia. São Paulo, 2011.

COSTA, D. F. **Biomassa como fonte de energia, conversão e utilização**. (Monografia). Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia (PIPGE) do Instituto de Eletrotécnica e Energia (IEE) da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.

DEGOBERT, P. **Automobiles and Pollution**; ed. SAE Society of Automotive Engineers. Estados Unidos, 1995.

DOCKERY, D.W.; POPE, C. A., **Acute Respiratory Effects of Particulate Air Pollution**. Annual Review of Public Health. Environmental Epidemiology Program, Harvard School of Public Health, Boston, Massachusetts. Vol. 15: 107-132, 1994.

DÍEZ, P. F.; **Turbinas de gás: ciclos termodinâmicos**. (monografia). Espanha, 2005.

EMAE. Empresa Metropolitana de Águas e Energia. **Relatório anual da administração**. São Paulo, 2011.

EMBRAPA AGROBIOLOGIA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Compostagem**. Disponível em: [www.cnpab.embrapa.br/](http://www.cnpab.embrapa.br/). Acesso em 08/2010.

EPA. Environmental Protection Agency. **Evaluation of Savings from the Application of Adsil™ in the NC/SC Charlotte Area**. Disponível em: [www.epa.gov/ttnecat1/dir1/adsil\\_report.pdf](http://www.epa.gov/ttnecat1/dir1/adsil_report.pdf). Acesso em: 08/2010.

EPA - Environmental Protection Agency. **Methane**. Disponível em: [www.epa.gov/methane/](http://www.epa.gov/methane/). Acesso em: 08/2010.

FIGUEREDO, K. **A Logística do Pós-Venda**. Artigo do Centro de estudos em Logística. Rio de Janeiro: COOPEAD-UFRJ, 2002.

FIGUEIREDO, F. E. L. **Meio Ambiente Paulista: Relatório de Qualidade Ambiental**. Secretaria do Meio Ambiente. São Paulo, 2011.

FORMOSINHO, S. J.; PIO, C. A.; BARROS, J. H.; CAVALHEIRO, J. R. **Parecer relativo ao tratamento de resíduos industriais perigosos**. Aveiro, 2000.

GALBIATI, A .F. **Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos e a Reciclagem**. (Monografia). Universidade Federal Mato Grosso do Sul, 2005. Disponível em: <http://www.amda.org.br/objeto/arquivos/97.pdf>. Acesso em 26/09/2011.

GOMES, D. A.; DINIS, M. A. Incineração versus Co-Incineração. **Revista da Faculdade de Ciência e Tecnologia**. Porto. ISSN 1646-0499. 2 (2005) 66-82.

HINRICHS, R. A.; KLEINBACH, M. **Energia e meio ambiente**. Tradução da terceira edição Norte americana (Thompson Learning); São Paulo, 2003.

IFSRG. Instituto Federal Sul-Rio-Grandense. 2ª mostra de trabalhos de tecnologia ambiental. **Livro de resumos**. 1ª edição. Dezembro, 2009.

KIEHL, E. J. **Manual da Compostagem: maturação e qualidade do composto**. São Paulo, 3ªed. 171 p. 2002.

LAVRIC, E. D.; KONNOV, A. A.; RUYCK, J. D. **Dioxin levels in wood combustion-- a review**. **Biomass and Bioenergy**, 26, 115-145, 2004.

LEMOS, L. T. Incineração de Resíduos Sólidos Urbanos: qual a melhor opção de aproveitamento energético? **Revista Millenium**, 1997.

MANOUKIAN, F. **Mercado de sucata movimentada R\$ 200 mil por dia em São José. O Vale, São José dos Campos**, 21 de Agosto de 2011. Disponível em: <http://servicos.sjc.sp.gov.br/downloads/vale329.pdf>. Acesso em 08/2011.

MEDEIROS, L. F. R. de; MACEDO, K. B. **Catador de material reciclável: uma profissão para além da sobrevivência?** Artigo Científico da Universidade Católica de Goiás. *Psicologia & Sociedade*; 18 (2): 62-71; mai./ago. 2006.

MEYER, C., BEER, T., MUELLER, J., GILLET, R., WEEKS, I., POWELL, J., TOLHURST, K., MCCAWE, L., COOK, G. & MARNEY, D. 2004. **Dioxins Emissions from Bushfires in Australia-Technical Report No. 1.** Canberra.

MILHOR, C. E.; **Sistema de desenvolvimento para controle eletrônico dos motores de combustão interna ciclo Otto.** Dissertação de mestrado. São Carlos, 2002.

MONTEIRO, J. H. P.; FIGUEIREDO, C. E. M.; MAGALHÃES, A. F.; MELO M. A. F. de; BRITO J. C. X. de; ALMEIDA T. P. F. de; MANSUR G. L. **Manual de Gerenciamento Integrado de resíduos sólidos.** Rio de Janeiro; IBAM, 2001.

MORGADO, T. C.; FERREIRA, O. M. **Incineração de resíduos sólidos urbanos, aproveitamento na co-geração de energia.** Estudo para a região metropolitana de Goiânia. Goiânia, 2006.

MOREIRA, C. A.; BRAGA, A. C. de O.; **Aplicação do método de polarização induzida em aterro controlado.** São Paulo, UNESP, Geociências, v. 27, n. 2, p. 219-227, 2008.

MUELLER, C. F. **Logística Reversa, Meio-ambiente e Produtividade.** Grupo de estudos logísticos. Universidade Federal de Santa Catarina. Estudos realizados - GELOG-UFSC, 2005.

OLIVEIRA, N. A. da. S. **A percepção dos Resíduos Sólidos (lixo) de origem domiciliar no Bairro Cajuru, Curitiba-PR: um olhar reflexivo a partir da educação Ambiental.** 160 f. Tese (Mestrado em Geografia). Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 200

PAULO, H. A. R.; **Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas de Dioxinas e Furanos**. Dissertação de mestrado. Aveiro, 2011.

PECORA, V. **Implantação de uma Unidade Demonstrativa de Geração de Energia Elétrica a partir do Biogás de Tratamento do Esgoto Residencial da USP – Estudo de Caso**. Dissertação de Mestrado – Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia da Universidade de São Paulo - PIPGE. 152pgs.; 2006.

PERERA, F. P. **Environment and Cancer: Who Are Susceptible?** Science Magazine, 1997.

PNRS. Política Nacional dos Resíduos Sólidos. **Versão Preliminar para consulta pública**. Ministério do Meio Ambiente, Governo Federal. Brasília, 2011.

PNSB. Pesquisa Nacional de Saneamento Básico . IBGE. Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Número de municípios com serviço de limpeza urbana e/ou coleta de lixo, por percentual de lixo coletado**. Rio de Janeiro, 2010.

PSJC. PREFEITURA DE SÃO JOSÉ DOS CAMPOS

\_\_\_\_. **Estudo de viabilidade técnica**, São José dos Campos, SP, 2011.

\_\_\_\_. **Estudo de viabilidade ambiental**, São José dos Campos, SP, 2011.

Disponível em: <http://servicos.sjc.sp.gov.br/servicos/hotsitesemea/edital.aspx>.

Acessado em 08/2011.

ROSA, L. P. **Geração hidrelétrica, termelétrica e nuclear**. Estudos Avançados 21 (59), 2007.

RUSSO, M. A. T.. **Tratamento de resíduos sólidos**. (Monografia). Faculdade de ciências e Tecnologia. Departamento de Engenharia Civil. Universidade de Coimbra. Portugal, 2003.

SAINT MARC, P. **Socialização da Natureza**; apud: Biblioteca Salvat de Grandes Temas: A Poluição, ed. Salvat: Espanha, 1979.

SANTOS, M. C, L. dos; GONÇALVES-DIAS, S. L. F. **Resíduos sólidos urbanos e seus impactos**. São Paulo: IEE-USP, 82p, 2012.

USHIMA, A. H. **Testes no Sistema de Gaseificação de Biomassa para comunidades Isoladas**. Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT. Relatório Técnico, 2003.

TUPIASSÚ, A. et al. **Manual do Curso Municipal de Jardinagem**. Prefeitura Municipal de São Paulo em parceria com a Escola Municipal de jardinagem. São Paulo, 2009.

USEPA. United States Environment Protection Agency. **Exposure and human health reassessment of 2,3,7,8-tetrachlorodibenzo-p-dioxin and related compounds**. National Academy of Sciences Review Draft. Washington, 2003.

WHO. Health World Organization. **Assessment of the health risk of dioxins: re-evaluation of the Tolerable Daily Intake (TDI)**. Geneva, 1998.

## **ANEXO A**

### **LEGISLAÇÃO PNMA PARA POLUIÇÃO DO AR**

## **POLUIÇÃO DO AR**

A Poluição do meio ambiente é definida pelo artigo 2º da Lei nº 997, de 31 de maio de 1976, como: “... a presença, o lançamento ou a liberação, nas águas, no ar ou no solo, de toda e qualquer forma de matéria ou energia, com intensidade, em quantidade, de concentração ou com características em desacordo com as que forem estabelecidas em decorrência desta Lei, ou que tornem ou possam tornar as águas, o ar ou solo:

I - impróprios, nocivos ou ofensivos à saúde;

II - inconvenientes ao bem estar público;

III - danosos aos materiais, à fauna e à flora:

IV - prejudiciais à segurança, ao uso e gozo da propriedade e às atividades normais da comunidade.”

Os artigos subseqüentes ainda proíbem o lançamento ou liberação de poluentes nas águas, ar e solo; dissertam sobre a atividade fiscalizadora e repressiva, de responsabilidade do órgão estadual de controle da poluição do Meio Ambiente; E dá diretrizes sobre a instalação, construção e operação das fontes de poluição [...] que ficam sujeitas à prévia autorização do órgão estadual de controle da poluição do meio-ambiente, mediante expedição, quando for o caso, de Licença Ambiental Prévia (LAP), Licença Ambiental de Instalação (LAI) e/ou Licença Ambiental de Operação (LAO).

## **Legislação PNMA**

Após o advento da Lei da Política Nacional do Meio ambiente (6.938), agosto de 1981, todas as leis ambientais que foram promulgadas passaram a conter disposições referentes às informações, com foco em seus dois fluxos: a comunicação que parte do Poder Público em direção à todos e o acesso dos cidadãos às informações.

(MACHADO, 2009)

O artigo 225 da Constituição Federal do Brasil (1988) estabelece que:

*“Todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao Poder Público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações.”*

A lei nº 12.305, que instituiu a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNMA), elenca como objetivos:

- I - proteção da saúde pública e da qualidade ambiental;
- II - não geração, redução, reutilização, reciclagem e tratamento dos resíduos sólidos, bem como disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos;
- III - estímulo à adoção de padrões sustentáveis de produção e consumo de bens e serviços;
- IV - adoção, desenvolvimento e aprimoramento de tecnologias limpas como forma de minimizar impactos ambientais;
- V - redução do volume e da periculosidade dos resíduos perigosos;
- VI - incentivo à indústria da reciclagem, tendo em vista fomentar o uso de matérias-primas e insumos derivados de materiais recicláveis e reciclados;
- VII - gestão integrada de resíduos sólidos;
- VIII - articulação entre as diferentes esferas do poder público, e destas com o setor empresarial, com vistas à cooperação técnica e financeira para a gestão integrada de resíduos sólidos;
- IX - capacitação técnica continuada na área de resíduos sólidos;
- X - regularidade, continuidade, funcionalidade e universalização da prestação dos serviços públicos de limpeza urbana e de manejo de resíduos sólidos, com adoção de mecanismos gerenciais e econômicos que assegurem a recuperação dos custos dos serviços prestados, como forma de garantir sua sustentabilidade operacional e financeira;
- XI - prioridade, nas aquisições e contratações governamentais, para:
  - a) produtos reciclados e recicláveis;
  - b) bens, serviços e obras que considerem critérios compatíveis com padrões de consumo social e ambientalmente sustentáveis;
- XII - integração dos catadores de materiais reutilizáveis e recicláveis nas ações que envolvam a responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos;
- XIII - estímulo à implementação da avaliação do ciclo de vida do produto;
- XIV - incentivo ao desenvolvimento de sistemas de gestão ambiental e empresarial voltados para a melhoria dos processos produtivos e ao reaproveitamento dos resíduos sólidos, incluídos a recuperação e o aproveitamento energético;
- XV - estímulo à rotulagem ambiental e ao consumo sustentável.

Diante desta lei, as concepções ambientais de todos os setores da sociedade começam a se transformar e, neste contexto, surge o termo “responsabilidade compartilhada”, que traduz a formação de um elo entre os diversos setores da sociedade (público e privado) para gerenciar os resíduos sólidos.

Nesta conjuntura:

Compete a União, aos Estados e Municípios a elaboração de planos de manejo de resíduos sólidos em conformidade com as novas diretrizes e que estabeleçam metas e programas de reciclagem.

Outra competência municipal é a proibição de criação e manutenção de lixões, em arranjo com a construção de aterros sanitários adequados ambientalmente, onde só poderão ser depositados os resíduos sem qualquer possibilidade de reaproveitamento ou compostagem.

Compete ao setor industrial e comercial a responsabilidade desde a geração até a disposição final de seus produtos.

Compete ao consumidor final o acondicionamento correto do lixo e o direcionamento para postos de coleta.

**ANEXO B**

**RESOLUÇÃO CONAMA nº 404 DE 2008**

**RESOLUÇÃO Nº 404, DE 11 DE NOVEMBRO DE 2008**

Estabelece critérios e diretrizes para o licenciamento ambiental de aterro sanitário de pequeno porte de resíduos sólidos urbanos.

O CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE - CONAMA, no uso das atribuições que lhe são conferidas pelo art. 8º, inciso I, da Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, e tendo em vista o disposto em seu Regimento Interno, e

Considerando que a disposição inadequada de resíduos sólidos constitui ameaça à saúde pública e agrava a degradação ambiental, comprometendo a qualidade de vida das populações;

Considerando as dificuldades que os municípios de pequeno porte enfrentam na implantação e operação de aterro sanitário de resíduos sólidos, para atendimento às exigências do processo de licenciamento ambiental;

Considerando que a implantação de aterro sanitário de resíduos sólidos urbanos deve ser precedida de Licenciamento Ambiental por órgão ambiental competente, nos termos da legislação vigente;

Considerando o disposto no artigo 12 da Resolução CONAMA nº 237, de 19 de dezembro de 1997, que possibilita a adoção de procedimentos simplificados, observadas a natureza, características e peculiaridades da atividade ou empreendimento, resolve:

Art. 1º Estabelecer 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 nesta Resolução.

§ 1º Para efeito desta Resolução são considerados aterros sanitários de pequeno porte aqueles com disposição diária de até 20 t (vinte toneladas) de resíduos sólidos urbanos.

§ 2º Nas localidades onde exista um incremento significativo na geração de resíduos pela população flutuante ou sazonal, esta situação deve ser prevista no projeto, o qual deverá contemplar as medidas de controle adicionais para a operação do aterro.

§ 3º O disposto no caput limita-se a uma única unidade por sede municipal ou distrital.

Art. 2º Para os aterros tratados nesta resolução será dispensada a apresentação de EIA/RIMA.

Parágrafo único. O órgão ambiental competente, verificando que o aterro proposto é potencialmente causador de significativa degradação do meio ambiente, exigirá o EIA/RIMA.

Art. 3º Nos aterros sanitários de pequeno porte abrangidos por esta Resolução é admitida a disposição final de resíduos sólidos domiciliares, de resíduos de serviços de limpeza urbana, de resíduos de serviços de saúde, bem como de resíduos sólidos provenientes de pequenos estabelecimentos comerciais, industriais e de prestação de serviços.

§ 1º O disposto no caput somente será aplicado aos resíduos que não sejam perigosos, conforme definido em legislação específica, e que tenham características similares aos gerados em domicílios, bem como aos resíduos de serviços de saúde que não requerem tratamento prévio à disposição final e aqueles que pela sua classificação de risco necessitam de tratamento prévio à disposição final, de acordo com a regulamentação técnica dos órgãos de saúde e de meio ambiente, conforme RDC Anvisa nº 306, de 2004 e Resolução Conama nº 358, de 2005.

§ 2º A critério do órgão ambiental competente, poderá ser admitida a disposição de lodos secos não perigosos, oriundos de sistemas de tratamento de água e esgoto sanitário, desde que a viabilidade desta disposição seja comprovada em análise técnica específica, respeitadas as normas ambientais, de segurança e sanitárias pertinentes.

§ 3º Não podem ser dispostos nos aterros sanitários de que trata esta resolução os resíduos perigosos que, em função de suas características de inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade, carcinogenicidade, teratogenicidade, mutagenicidade e perfurocortantes, apresentem risco à saúde pública e ao meio ambiente, bem como os resíduos da construção civil, os provenientes de atividades agrosilvopastoris, dos serviços de transportes, de mineração de serviço de saúde classificados na RDC Anvisa nº 306, de 2004 e Resolução CONAMA nº 385, de 2005 com exigência de destinação especial.

Art. 4º No licenciamento ambiental dos aterros sanitários de pequeno porte contemplados nesta Resolução 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 10 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.

Parágrafo único. O órgão ambiental competente poderá a qualquer tempo, considerando as características locais, incluir novas exigências.

Art. 5º O órgão ambiental competente poderá definir os procedimentos complementares para o licenciamento ambiental, de que trata esta resolução, que deverão ser aprovados pelo respectivo Conselho de Meio Ambiente.

Art. 6º Esta Resolução entra em vigor na data de sua publicação.

Art. 7º Revoga-se a Resolução nº 308, de 21 de março de 2002.

CARLOS MINC

Presidente do Conselho