



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
CAMPUS DE BAURU
FACULDADE DE ENGENHARIA
Pós-Graduação em Engenharia Mecânica

**POTENCIAL DE GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA A PARTIR
DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS PARA BAURU E REGIÃO**

Alexander da Silva Maranhão

Dissertação apresentada à
Faculdade de Engenharia da
UNESP – Campus Bauru,
para obtenção do título de
Mestre em Engenharia
Mecânica

NOVEMBRO –2008

Bauru – SP



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
CAMPUS DE BAURU
FACULDADE DE ENGENHARIA
Pós-Graduação em Engenharia Mecânica

**POTENCIAL DE GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA A PARTIR
DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS PARA BAURU E REGIÃO**

Alexander da Silva Maranhão

Orientador: Prof. Dr. Celso Luiz da Silva

Dissertação apresentada à
Faculdade de Engenharia da
UNESP – Campus Bauru,
para obtenção do título de
Mestre em Engenharia
Mecânica

NOVEMBRO –2008

Bauru – SP

Maranho, Alexander da Silva.

Potencial de geração de energia elétrica a partir de resíduos sólidos urbanos para Bauru e região / Alexander da Silva Maranhão. – Bauru, 2008.
107 f. : il.

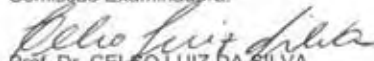
Orientador: Celso Luiz da Silva

Dissertação (Mestrado)-Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia, Bauru, 2008

1. Energia alternativa. 2. Geração de energia. 3. Incineração de resíduos sólidos urbanos. I. Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia. II. Título.

ATA DA DEFESA PÚBLICA DA DISSERTAÇÃO DE MESTRADO DE ALEXANDER DA SILVA MARANHÃO, DISCENTE DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA, DO(A) FACULDADE DE ENGENHARIA DE BAURU.

Aos 03 dias do mês de novembro do ano de 2008, às 09:00 horas, no(a) Anfiteatro do STI, reuniu-se a Comissão Examinadora da Defesa Pública, composta pelos seguintes membros: Prof. Dr. CELSO LUIZ DA SILVA do(a) Departamento de Engenharia Mecânica / Faculdade de Engenharia de Bauru, Prof. Dr. PAULO CEZAR RAZUK do(a) Departamento de Engenharia Mecânica / Faculdade de Engenharia de Bauru, Prof. Dr. ALBERTO HERNANDEZ NETO do(a) Departamento de Engenharia Mecânica/Escola Politécnica/USP, sob a presidência do primeiro, a fim de proceder a arguição pública da DISSERTAÇÃO DE MESTRADO de ALEXANDER DA SILVA MARANHÃO, intitulado "POTENCIAL DE GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA A PARTIR DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS PARA BAURU E REGIÃO". Após a exposição, o discente foi arguido oralmente pelos membros da Comissão Examinadora, tendo recebido o conceito final: Aprovado. Nada mais havendo, foi lavrada a presente ata, que, após lida e aprovada, foi assinada pelos membros da Comissão Examinadora.


Prof. Dr. CELSO LUIZ DA SILVA


Prof. Dr. PAULO CEZAR RAZUK


Prof. Dr. ALBERTO HERNANDEZ NETO

D E D I C A T Ó R I A

Aos meus pais e irmãos pelo incentivo
E apóio que me deram e que são
Exemplos na minha vida.

A G R A D E C I M E N T O S

Ao orientador e amigo, Professor Doutor Celso Luiz da Silva, pela orientação, estímulo e sugestões seguras durante o estudo.

A CAPES pelo auxílio financeiro que viabilizou a realização deste trabalho.

Aos professores do Curso de Pós-Graduação de Engenharia Mecânica.

Aos funcionários da secretaria do Curso de Pós-Graduação, pelo profissionalismo e atenção sempre presentes.

Aos funcionários da biblioteca da UNESP pela atenção, amizade e profissionalismo.

Aos amigos Lucas José de Brito e Marcos Vinícius dos Reis, pela ajuda e companheirismo.

Aos colegas Pós-Graduandos, pelo incentivo, amizade e colaboração nas diversas fases do trabalho.

ÍNDICE GERAL

Índice de Figuras	IV
Índice de Tabelas	VI
Simbologia	VIII
Abreviaturas	IX
Resumo	X
Abstract	XI
CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO	
1 Introdução	1
1.1 Objetivos	4
CAPÍTULO 2 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	
2.1 Resíduos Sólidos Urbanos	5
2.2 Panorama Internacional	7
2.3 Panorama Nacional	8
2.4 Panorama Estadual	10
2.5 Classificação dos Resíduos Sólidos Urbanos (RSU)	11
2.6 Composição dos Resíduos Sólidos Urbanos	15
2.7 Caracterização dos Resíduos Sólidos Urbanos	16
2.8 Transporte dos RSU	18
2.8.1 Veículos Transportadores	19

2.9	Formas de Tratamento e Disposição dos RSU	21
2.9.1	Reciclagem	21
2.9.2	Compostagem	22
2.9.3	Coleta	22
2.9.4	Aterragem	24
2.9.5	Geração de Energia a partir de Resíduos Sólidos Urbanos	25
2.9.6	Incineração	28
2.9.7	Aspectos Ambientais na Incineração de Resíduos	30
2.9.8	Vantagens e Desvantagens da Incineração de RSU	31
2.10	Tecnologia para a Incineração	32
2.10.1	Descrição do Processo de Incineração	33
2.10.2	Componentes de uma planta Incineradora	37
2.10.3	Tipos de Incineradores	39
2.10.4	Tratamento dos Gases de Combustão	43
2.10.5	Outros Tipos de Equipamentos e processos para Tratamento de gases.	44
2.11	Geração de Energia	48
2.11.1	Matriz Energética Nacional	48
2.11.2	Energia da Biomassa	51

CAPÍTULO 3 – MATERIAIS E METODOLOGIA

3.1	Localização	53
3.2	Software COMBUST	55

3.3	RSU do Município de Bauru	57
3.4	RSU dos Municípios na Região Administrativa de Bauru	58
CAPÍTULO 4 – RESULTADOS E ANÁLISES		
4.1	Geração de Energia	61
4.2	Estudo de Viabilidade da Geração de Energia Elétrica para Bauru e Região	62
4.3	Disponibilidade de Energia Elétrica produzida pela combustão dos RSU	65
CAPÍTULO 5 – CONCLUSÕES		71
CAPÍTULO 6 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS		73
ANEXOS		80

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1	Classificação dos resíduos sólidos em função da atividade de origem	5
Figura 2.2	Classificação dos resíduos sólidos urbanos (materiais constituintes)	6
Figura 2.3	Composição de Resíduos Sólidos Urbanos em diversos países (%)	17
Figura 2.4	Estação de Transbordo	19
Figura 2.5	Esquema Representativo de Dupla-Câmara de Combustão	35
Figura 2.6	Fluxograma típico de uma planta de incineração com geração de energia	38
Figura 2.7	Incinerador do Tipo Rotativo	40
Figura 2.8	Incinerador de Resíduos Líquidos	41
Figura 2.9	Incinerador de Leito Fluidizado	42
Figura 2.10	Lavador de Gás Ventury com separador ciclônico	44
Figura 2.11	Lavadores de Gases do Tipo “Autoinduzido – Elai”	45
Figura 2.12	Ciclone com Entrada Tangencial e retorno do gás	46
Figura 2.13	Vista simplificada de um Precipitador Eletrostático	47
Figura 2.14	Filtro de Mangas	49
Figura 3.1	Região Administrativa (RA) de Bauru	54
Figura 3.2	Tela Inicial do Software COMBUST	56

Figura 4.1	Fluxograma de Perdas em Sistemas com Recuperação de Energia	62
Figura 4.2	Potencial Energético Diário Líquido e Segregado do RSU Coletado na Região de Bauru	67
Figura 4.3	Potencial Energético da Região considerando a Segregação e Energia Consumida no Transporte em relação ao Potencial Energético Total	68
Figura 4.4	Potencial Energético Diário do RSU Total e Segregado e Consumo Energético no Transporte nas principais cidades da região estudada	69

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 2.1	Situação geral do Estado de São Paulo, quanto às quantidades de resíduos sólidos gerados	11
Tabela 2.2	Composição Média do RSU brasileiro	15
Tabela 2.3	Composição dos resíduos sólidos em diversos países - % do peso total	16
Tabela 2.4	Composição dos Resíduos Sólidos Urbanos - EUA	17
Tabela 2.5	Caracterização Física, em porcentagem de peso, dos Resíduos Sólidos de algumas cidades	18
Tabela 2.6	Percentual de Segregação média do Lixo Urbano no Brasil	22
Tabela 2.7	Brasil – destino final do RSU (%)	23
Tabela 2.8	Destino dos resíduos sólidos urbanos em diversos países em %	24
Tabela 3.1	Composição Típica dos Resíduos Sólidos Urbanos do Aterro Sanitário de Bauru	58
Tabela 3.2	Porcentagem em massa	58
Tabela 3.3	Característica das Cidades na RA de Bauru	59
Tabela 4.1	Contribuição Proporcional de Cada Componente do RSU	61
Tabela 4.2	Potencial Energético considerando RSU Total	64

Tabela 4.3	Contribuição de cada componente do RSU, considerando a segregação.	65
Tabela 4.4	Potencial Energético do RSU considerando a segregação	66

SIMBOLOGIA

E_G = Potencial Energético [kWh]

PCI = Poder Calorífico Inferior [kcal/kg]

η = Rendimento

m = massa [kg]

E_T = Energia Consumida no Transporte [kWh]

l = litros (volume de combustível) [litros/dia]

ρ = densidade do óleo diesel [kg/l]

q_v = quantidade de viagem (ida e volta)

E_L = Potencial Energético Líquido [kWh]

ABREVIATURAS

ABES = Associação Brasileira de Engenharia Sanitária

ABNT = Associação Brasileira de Normas Técnicas

C.I. = Consórcio Intermunicipal

CDR = Combustível Derivado de Resíduos

CEMPRE = Compromisso Empresarial para a Reciclagem

CEPEL = Centro de Pesquisas de Energia Elétrica

CETESB = Companhia de Tecnologia em Saneamento Ambiental

CNEN = Comissão Nacional de Energia Nuclear

EPA = Environmental Protection Agency

FATEC = Faculdade de Tecnologia

FECOP = Fundo Estadual de Prevenção e Controle de Poluição

FEHIDRO = Fundo Estadual de Recursos Hídricos

IBGE = Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IPCC = International Panel on Climate Change

MDL = Mecanismo de Desenvolvimento Limpo

MP = Material Particulado

NBR = Norma Brasileira Regulamentadora

PROINFA = Programa de Incentivo às Fontes Alternativas

R.A. = Regiões Administrativas

RSU = Resíduos Sólidos Urbanos

UE = União Européia

UFRJ = Universidade Federal do Rio de Janeiro

RESUMO

O trabalho pretendeu analisar a viabilidade de geração de energia elétrica a partir da combustão de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) do município de Bauru e sua região administrativa. O objetivo principal foi levantar dados da quantidade e composição do material coletado e estimar o potencial de energia a ser gerado.

Para tanto, foi analisado o total diário coletado na região citada obtido do Relatório Anual da CETESB. Adotou-se a hipótese da constituição de um consórcio intermunicipal, onde Bauru seria a melhor opção para sediar a planta regional para incineração dos RSU, por ser a maior geradora e estar localizada na região central elegida.

Para obter os resultados de combustão completa, utilizou-se o software Combust, importante ferramenta para simular o processo e calcular as composições dos gases gerados.

Os resultados permitem inferir que poderiam ser obtidos aproximadamente 355.623 kWh/dia de energia elétrica, sendo 12.848 kWh/dia usados para o transporte de parte dos RSU até Bauru, ou seja, um potencial energético líquido de 342.775 kWh/dia, quantidade nada desprezível nestes momentos de escassez. Se considerar a separação de plástico, papel/papelão para reciclagem, o potencial energético líquido seria de 228.659 kWh/dia.

Como era de esperar, ocorre uma redução substancial do potencial energético quando se implementa a reciclagem de materiais combustíveis. Dessa forma, pode-se afirmar que a análise energética mostra maior vantagem na combustão dos RSU sem a reciclagem dos materiais combustíveis.

ABSTRACT

The work sought to examine the feasibility of electricity generating from the combustion of Municipal Solid Waste (MSW) the city of Bauru its administrative region.

The main objective was to raise data on the quantity and composition of the material collected and estimate the potential of energy being created. For both, was considered the daily total collected in the region obtained the Annual Report of CETESB. Adopted the possibility of forming a consortium intercommunal where Bauru would be the best choice to host the regional plant for incineration of MSW, as the largest generator and be located in the central region elected.

For the full results of combustion, the software used Combust, important tool to simulate and calculate the compositions.

The results indicate that it could be obtained approximately 355,623 kWh/day of electricity, with 12,848 kWh/day used to transport part of the MSW to Bauru, or a net energy potential of 342,775 kWh/day, quantity nothing in these despicable times of scarcity. If you consider the separation of plastic, paper and cardboard for recycling, the energy potential net would be 228,659 kWh/day.

As it was expected, there is a substantial reduction in the energy potential when implementing the recycling of combustible materials. Thus, one can say that the energy analysis shows greater advantage in the combustion of MSW without the recycling of combustible materials.

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO

1.1 Introdução

Recentemente o Brasil enfrentou uma crise energética sem precedentes. A falta de investimentos no setor e o aumento gradativo do consumo de energia elétrica – um apelo inerente aos tempos modernos – culminaram com o estabelecimento da crise que afetou a população brasileira no início do novo milênio. Todos os setores da sociedade brasileira viveram sob a meta de redução obrigatória do consumo, sob pena de cortes no fornecimento e multas.

Para evitar novos problemas nessa área, os especialistas são unânimes em apontar para a necessidade de um novo planejamento e regulamentação para o setor, a curto, médio e longo prazos. Como em toda situação limite, as autoridades, os especialistas e a população discutem as possíveis soluções para a carência de energia elétrica no Brasil. São muitas as alternativas, buscam-se, no entanto, critérios de viabilidade.

Evitar uma outra crise energética significa integrar novas opções incluindo tecnologias para melhorar a eficiência energética, assim como fontes alternativas. Entre estas, cabe destacar a importância do aproveitamento dos resíduos sólidos urbanos.

Gerar resíduos é uma consequência inerente à vida humana, do nascimento à morte, em quaisquer atividades, sejam elas domésticas, comerciais, produtivas, quase sempre de maneira insustentável. Nos últimos anos, verifica-se a crescente produção desses resíduos motivada não só pelo aumento populacional, como também pelo maior consumo de produtos com embalagens.

Dessa forma, o lixo é um problema mundial, já que milhões de toneladas dele são produzidas diariamente. Só no Brasil, são 150 mil toneladas por ano (IB, 2006), constituindo-se em um problema sério.

Uma vez gerados, os resíduos devem ser coletados, afastados de sua área de produção e consumo e destinados a descartes controlado e adequado que não cause impactos negativos ao meio ambiente e à saúde humana.

No Brasil, existem grandes problemas em relação à disposição final dos resíduos sólidos. A disposição comum, a céu aberto, conhecida como “lixão” é prática antiga e inadequada para o armazenamento do lixo. Além disso, há escassez de aterros sanitários, especialmente nos centros urbanos de maior porte, pois, há falta de espaço físico para que sejam construídos.

Assim, há que se recorrer à incineração da massa sólida, reduzindo-se em grande parte o volume de material descartado. Trata-se de um processo em que os resíduos são destruídos pela combustão, havendo redução do peso, do volume e das características de periculosidade dos detritos e a conseqüente eliminação da matéria. Hoje, deve-se expandir ainda mais essa conceituação afirmando-se que a incineração é também um processo de reciclagem, pois a energia liberada permite à produção de energia elétrica e de vapor (cogeração).

Em muitos lugares, a energia recuperada num sistema de tratamento de RSU tem sido utilizada para:

- aquecer água para o próprio processo e distribuição a hospitais, piscinas municipais e sistemas de calefação;
- gerar vapor para uso industrial;
- produzir energia elétrica para uso na planta e distribuição local, e;
- gerar frio, trigerção, para uso em sistemas de condicionamento de ar em indústrias, shopping centers, aeroportos e outros.

Portanto, é inconcebível desperdiçar essa fonte renovável de energia, quando a demanda aumenta e a oferta se faz através de derivados de fósseis, cujos custos são altíssimos.

Os recursos energéticos renováveis oferecem muitas vantagens para um mundo carente de energia, pois, além de inúmeras possibilidades de uso, podem ser controlados com tecnologias apropriadas, gerando problemas ambientais menores. Esse

potencial é imenso e deve ser aproveitado. De acordo com Hinrichs (2002), as fontes renováveis de energia fornecem aproximadamente 9% do potencial mundial, que aumenta para 22% se incluirmos todos os usos da biomassa.

Além disso, a incineração evita emissões de gases responsáveis pelo efeito estufa em duas vezes: sua própria emissão de metano - caso fosse aterrada – e as emissões de dióxido de carbono decorrente da queima de combustíveis fósseis substituídos, fato que pode ser revertido em créditos de carbono, segundo o protocolo de Quioto.

Nesse sentido, estudam-se algumas possibilidades para a geração de energia através do processo de incineração dos RSU para a região de Bauru. Nessa cidade, de acordo com dados da CETESB (2007), são recolhidas para o aterro sanitário 211,7 toneladas de resíduos por dia. Ali, são depositados em células, não havendo nenhuma forma de tratamento ou separação do material (segregação). Para a sua região, que engloba 41 municípios, o total gerado de Resíduos Sólidos chega a 343,7 toneladas por dia, havendo diversas formas de disposição final desses resíduos.

Torna-se, portanto, muito vantajoso um projeto de tratamento de RSU com recuperação de energia. De fato, já 200 ton/dia da fração orgânica dos resíduos sólidos urbanos permitem a implantação de uma usina termelétrica com a potência de 2MW, capaz de atender a uma população de 20 mil habitantes (HAUSER, 2006). Isso significa que, se parte do lixo domiciliar brasileiro fosse utilizado para produzir energia elétrica, poder-se-ia implantar usinas termelétricas com potências significativas em diversas regiões.

A vantagem da planta incineradora de RSU para aproveitamento energético é complementar as soluções de depósitos de lixo existentes, pois elimina a produção de chorume e de metano, já que não há deteriorização dos resíduos sólidos.

Entretanto, a otimização do aproveitamento energético dos RSU requer uma opção política que conceda ao cidadão o poder e a responsabilidade de agir, cotidianamente, em prol do crescimento da sociedade, uma vez que só a prática da coleta seletiva – seleção na fonte – é capaz de viabilizar tal projeto.

1.2 Objetivos

O objetivo geral dessa pesquisa é levantar dados da quantidade e composição dos resíduos sólidos urbanos coletados na cidade de Bauru e região, visando avaliar alguns cenários para geração de energia pelo processo da incineração.

Tem como objetivos específicos:

- ➔ Levantar e tabular informações que tratem da quantificação e composição dos RSU de Bauru e região;
- ➔ Através do software Combust estimar o PCI médio dos RSU de Bauru e região;
- ➔ Estimar o consumo de combustível provável no transporte do RSU até a planta de incineração localizada em Bauru e;
- ➔ Estimar o potencial de energia elétrica gerada, levando em consideração o RSU total e também a redução da massa incinerada em função da segregação para reciclagem.

CAPÍTULO 2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Resíduos Sólidos Urbanos

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) define o lixo como os "restos das atividades humanas, considerados pelos geradores como inúteis, indesejáveis ou descartáveis, podendo-se apresentar no estado sólido, semi-sólido ou líquido, desde que não seja passível de tratamento convencional."

Os resíduos sólidos urbanos são aqueles provenientes de residências, estabelecimentos comerciais e de prestação de serviços de varrição, de podas e de limpeza de vias e logradouros públicos, de sistemas de drenagem urbana, de sistemas de tratamento de água para abastecimento público e de sistemas de tratamento de esgotos.

Consideram-se resíduos sólidos urbanos aqueles gerados individualmente nas residências, tem-se na Figura 2.1 uma classificação genérica dos resíduos sólidos urbanos em função da sua origem.

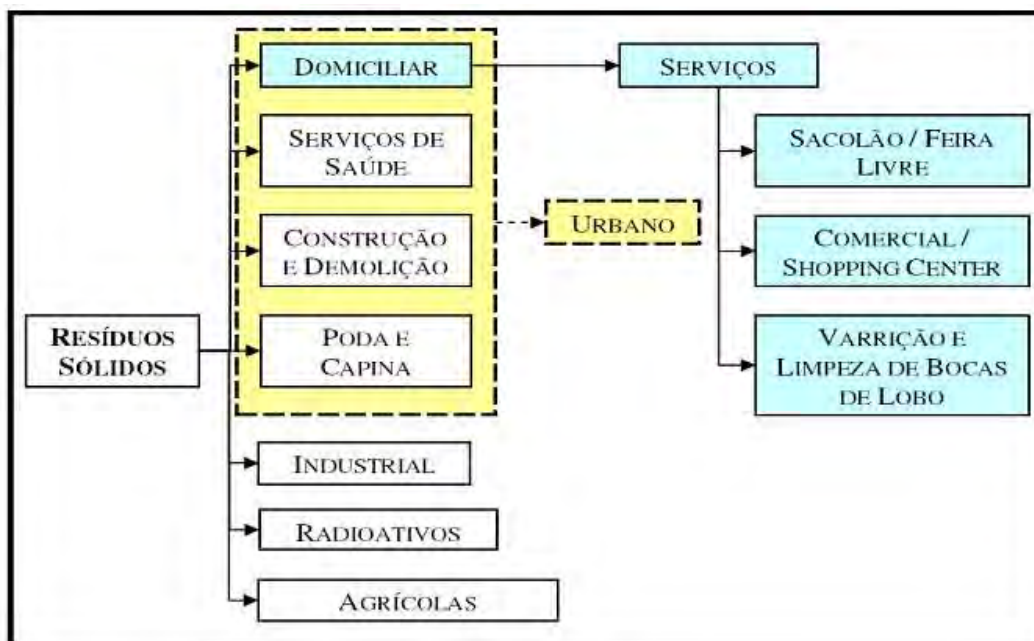


Figura 2.1: Classificação dos resíduos sólidos em função da atividade de origem

FONTE: MATTOS, 2005

Para a Figura 2.2 expõem que a administração local deve representar a forma de coleta e dispor adequadamente, para a sociedade (WAITE, 1995). O gerenciamento dos resíduos sólidos integra os serviços urbanos que englobam: água e esgoto sanitário, limpeza das ruas, estradas, espaços públicos e iluminação de ruas.

São constituídos por: restos de comida, plásticos, vidros, papéis, metais e outros tipos de embalagens tais como: isopor, papéis metalizados, plastificados e parafinados, esponjas de aço, cacos e muitos outros.

O desempenho dos serviços urbanos depende de vários fatores: estratégias de gerenciamento, recursos para manutenção, introdução de novas tecnologias (CAVILL, 2004).

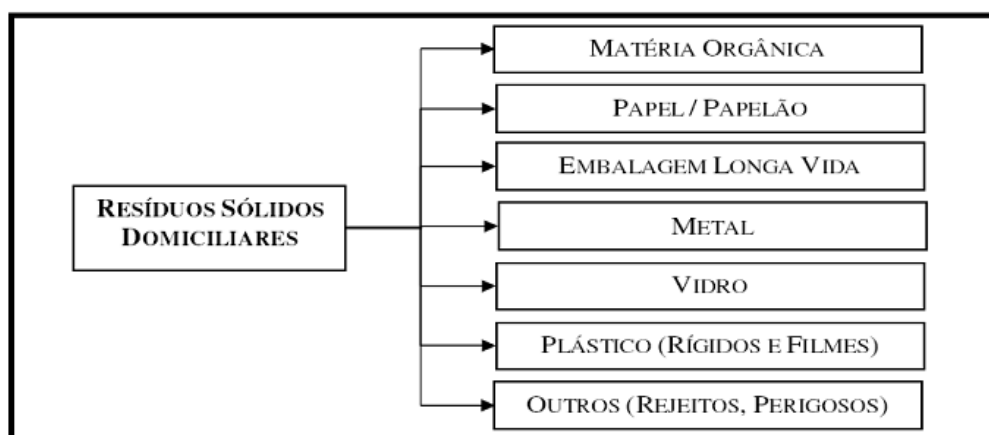


Figura 2.2 – Classificação dos Resíduos Sólidos Domiciliares (materiais constituintes)

FONTE: MATTOS, 2005

O processo se inicia a partir da extração dos recursos naturais do ambiente. Em seguida, ocorre a transformação destes em matéria prima industrializada para o consumo e que, após o uso, pode se transformar em lixo, ou material reciclável. Os materiais recicláveis coletados podem ser destinados às centrais de triagem onde são separados por tipos e vendidos às indústrias para reciclagem. O lixo é coletado e destinado aos aterros sanitários (AGUIAR, 1999).

Observa-se ainda que no decorrer deste processo são gerados impactos ao ambiente: na extração dos recursos naturais que pode ser realizada de forma sustentável

ou não, no gerenciamento dos resíduos, no processo produtivo e no tratamento e na destinação final, que podem gerar poluição da água, ar e solo.

2.2 *Panorama Internacional*

A gestão dos resíduos sólidos não se restringe ao sistema de coleta, tratamento e disposição final. Envolve outros fatores, tais como: o financiamento dos serviços, a descentralização e o tipo de participação do setor privado nos serviços, a participação da comunidade e as políticas públicas em relação aos resíduos após uso, implementadas em cada país ou região. A análise do panorama nacional e internacional da gestão dos resíduos sólidos também passa, necessariamente, pelo ponto de inflexão no qual houve a substituição de uma abordagem tradicional de tratamento dos resíduos sólidos para a implementação de um sistema de gestão apoiado em políticas ambientais, que englobou novas prioridades as quais estão sendo incorporadas gradativamente pelos diversos países.

A União Européia se destaca nesse novo cenário, tendo sido pioneira na implementação destas políticas e empreendido esforços no seu crescente aprimoramento.

Existem duas fortes tendências mundiais com relação à destinação final de Resíduos Sólidos em aterros sanitários: uma é a política agressiva da UE de valorização dos resíduos e redução da disposição no solo; a outra, que é crescente, é a implementação de projetos de recuperação dos gases dos aterros sanitários para geração de energia.

Estes projetos de recuperação dos gases dos aterros sanitários para geração de energia desenvolvida no âmbito do Protocolo de Quioto, através do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo- MDL visam reduzir os impactos ambientais causados pelos aterros, principalmente o efeito estufa, decorrente da queima dos gases.

O Protocolo de Quioto consiste num acordo internacional firmado em 1997 e que determina, aos países industrializados, limites nas emissões de gases que provocam

o efeito estufa na atmosfera e o aquecimento global. Um dispositivo que está previsto neste acordo é o MDL, que estimula países desenvolvidos a promoverem o financiamento de projetos de redução da emissão de poluentes em países em desenvolvimento (HENRIQUES, 2004).

O metano (CH_4) em aterros, um dos gases liberados em processos de decomposição de material orgânico, é 21 vezes mais poluente que o dióxido de carbono (CO_2) e pode ser capturado e usado em uma usina termelétrica para geração de energia, substituindo, assim, o uso de combustíveis fósseis, mais poluentes. Este processo de captação dos gases e geração de energia pode ser transformado em créditos de carbono a serem negociados no mercado internacional (PNUD, 2005).

Não obstante a importância da mitigação dos impactos ambientais provocados pelos aterros sanitários e as vantagens de realizá-la gerando renda, é fundamental ressaltar que este aproveitamento não substitui a implementação de políticas públicas que reduzam o desperdício de alimentos e a disposição de resíduos recuperáveis nos aterros e ampliem a reciclagem.

2.3 Panorama Nacional

No Brasil, verifica-se uma gradativa melhoria na qualidade da gestão dos resíduos sólidos urbanos. No entanto, a ausência de uma política nacional de resíduos sólidos, que se constitua num marco regulatório, a falta de confiabilidade nos dados fornecidos pelas prefeituras e de capacitação dos seus quadros técnicos dificulta um gerenciamento adequado, o financiamento de programas e projetos e a minimização dos impactos dos resíduos no meio ambiente e na saúde.

O primeiro diagnóstico da gestão dos resíduos sólidos no país foi elaborado pela Associação Brasileira de Engenharia Sanitária –ABES, em 1982 (OPAS, 2003).

A partir de 1989, o IBGE iniciou a coleta e registro de dados e a realização de publicações sistemáticas, de abrangência nacional, que incluíam o tema dos resíduos sólidos, entre as várias informações pesquisadas.

Em 2002, o Ministério das Cidades e o IPEA realizaram o Diagnóstico do Manejo dos Resíduos Sólidos Urbanos cuja amostra foi de 121 municípios, selecionados a partir de critérios específicos e que integrou, pela primeira vez, o Sistema Nacional de Informações em Saneamento. Instituído em 1996, este sistema publica anualmente diagnósticos sobre os serviços de água e esgoto.

Em 2003, 2004 e 2005, a ABRELPE (2005), publicou documentos sobre o Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil.

No Brasil, dos resíduos sólidos coletados, 77,1% são de resíduos domésticos e comerciais. Constata-se que o crescimento das quantidades de lixo coletadas, ao longo dos últimos 10 anos, foi exponencial em relação ao crescimento populacional. A média nacional de produção “per capita”, diária, é de 0,88 kg/ habitante, sendo 0,68 kg de resíduos domiciliares e 0,20 kg de resíduos da limpeza pública. Verifica-se o aumento dos valores “per capita” gerados à medida que cresce a população do município.

A análise dos resultados, quanto às unidades de disposição final de resíduos sólidos utilizadas pelos municípios, demonstra que existe a predominância da prática de disposição a céu aberto (lixões) com 59,0% das unidades identificadas, seguida dos aterros controlados, 16,8% e aterros sanitários, 15%. Os vazadouros em áreas alagadas correspondem a 0,6% e os aterros de resíduos especiais a 2,6% (ABRELPE, 2005).

Observa-se que houve diminuição da quantidade de resíduos sólidos depositados em lixões, que representava 72% da massa coletada em 1989, passando para 59,0% em 2000, fruto da melhoria da situação nos municípios de maior porte. Verifica-se que a situação apresenta-se mais crítica quanto menor é o município. No universo dos 5.507 municípios pesquisados pelo IBGE (2000), 63,8% tinham população até 15.000 habitantes. Nestes municípios 3.456 dispunham de serviço de coleta de lixo e, no entanto, 71,1% dos resíduos coletados eram vazados em lixões e em alagados. As 13 maiores cidades, com população acima de um milhão de habitantes, coletam 32% de todo o lixo urbano do país e têm seus locais de disposição final em melhor situação.

O Brasil ainda não possui uma lei que regulamente a área de resíduos sólidos, existem apenas diversos instrumentos legais que, a disciplinam.

2.4 Panorama Estadual

A CETESB – Agência Ambiental do Estado de São Paulo, realiza levantamentos e avaliações sobre as condições ambientais e sanitárias dos locais de destinação final de resíduos sólidos domiciliares nos municípios paulistas, buscando desenvolver e aprimorar mecanismos de controle da poluição ambiental. Nesse contexto, a partir de 1997, passou a organizar e sistematizar as informações obtidas, de modo a compor o Inventário Estadual de Resíduos Sólidos.

Com a publicação da décima edição do Inventário Estadual (CETESB, 2007), é possível verificar que, no decorrer desta década, foram alcançados resultados positivos a partir da sistematização das informações obtidas no período e da adoção de políticas públicas para aperfeiçoar as condições ambientais dos locais de destinação final de resíduos nos 645 municípios do Estado. Destaque-se que o número de municípios do Estado de São Paulo, cujas instalações de disposição e tratamento de resíduos domiciliares foram enquadradas na condição adequada, em 2006, é aproximadamente 12 vezes maior do que o observado em 1997.

No que se refere à quantidade de resíduos domiciliares gerados no período de 1997 a 2006, observa-se uma melhora nos índices que reproduzem as condições de disposição dos resíduos, conforme demonstram os dados da Tabela 2.1. No período em referência, a situação dos resíduos dispostos de forma inadequada, passou de 30,7% para 6,5%.

O Inventário Estadual apresenta a distribuição dos municípios a partir dos índices de enquadramento das instalações de destinação final de resíduos, que também indicam uma evolução. O número de municípios que dispõem os resíduos de forma adequada passou de 27 em 1997, para 308 em 2006. Em termos percentuais, verifica-se que em 1997, a maior parte, ou seja, 77,8% dos municípios do Estado encontravam-se em situação inadequada, enquanto que, em 2006, somente 22,2% estão nesta situação e que os demais 77,8% dos municípios apresentam condições controlada ou adequada (CETESB, 2007).

Tabela 2.1 - Situação geral do Estado de São Paulo, quanto às quantidades de resíduos sólidos gerados

Situação	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
	(t/d)	(t/d)	(t/d)	(t/d)	(t/d)	(t/d)	(t/d)	(t/d)
Inadequada	4.144	4.485	3.722	3.409	2.532	2.270	2.299	1.850
Controlada	3.267	4.376	5.737	2.581	3.410	3.463	3.249	3.638
Adequada	10.813	10.992	10.794	14.474	19.893	21.824	22.423	22.909
TOTAL	18.224	19.853	20.253	20.464	25.835	27.557	27.971	28.397

FONTE: CETESB, 2007

No que concerne às políticas públicas adotadas para o auxílio e o assessoramento dos municípios, destacam-se três programas de fundamental importância:

- FEHIDRO: Fundo Estadual de Recursos Hídricos, onde a CETESB desempenha um papel de agente técnico para implantação de aterros sanitários;

- Programa de Aterros Sanitários em Valas, para municípios de pequeno porte (até 25.000 habitantes) e;

- FECOP: Fundo Estadual de Prevenção e Controle de Poluição, para aquisição de caminhões compactadores, retroescavadeiras e pás carregadeiras.

2.5 Classificação dos Resíduos Sólidos Urbanos

Segundo Vilhena (2000) os resíduos sólidos podem ser classificados de quatro formas:

1-) por sua natureza, como seco ou úmido;

2-) pela sua composição química, como matéria orgânica ou inorgânica;

3-) pelos riscos potenciais ao meio ambiente, como perigosos e não perigosos;

4-) pela sua origem, como urbanos, de serviços de saúde, portos, aeroportos, agrícola e industriais.

De acordo com a NBR 10.004 da ABNT, os resíduos sólidos podem ser classificados em:

a) Classe I ou perigosos

São aqueles que, em função de suas características tóxicas, apresentam riscos à saúde pública através do aumento da mortalidade ou da morbidade, ou ainda provocam efeitos adversos ao meio ambiente quando manuseados ou dispostos de forma inadequada.

b) Classe II ou não-inertes

São os resíduos que podem apresentar características de combustibilidade, biodegradabilidade ou solubilidade, com possibilidade de acarretar riscos à saúde ou ao meio ambiente, não se enquadrando nas classificações de resíduos Classe I ou Perigosos.

c) Classe III ou inertes

São aqueles que, por suas características intrínsecas, não oferecem riscos à saúde e ao meio ambiente, e que, quando amostrados de forma representativa, segundo a norma NBR 10.004, e submetidos a um contato estático ou dinâmico com água destilada, a temperatura ambiente, conforme teste de solubilização, não tiverem nenhum de seus constituintes solúveis a concentrações superiores aos padrões de portabilidade da água.

A origem é o principal elemento para a caracterização dos resíduos sólidos. Segundo este critério, os diferentes tipos de lixo podem ser agrupados em espécies de classes:

I) Resíduo doméstico ou residencial

São os resíduos gerados nas atividades diárias em casas, apartamentos, condomínios e demais edificações residenciais.

II) Resíduo comercial

São os resíduos gerados em estabelecimentos comerciais, cujas características dependem da atividade ali desenvolvida. Nas atividades de limpeza urbana, os tipos "domésticos" e "comerciais" constituem o chamado "lixo domiciliar", que, junto com o lixo público, representa a maior parcela dos resíduos sólidos produzidos nas cidades.

O grupo de lixo comercial, assim como o entulho de obras, pode ser dividido em subgrupos chamados de “pequenos e grandes geradores”.

III) Resíduo Público

São os resíduos presentes nos logradouros públicos, em geral resultantes da natureza, tais como folhas, galhadas, poeira, terra e areia, e também aqueles descartados irregular e indevidamente pela população, como entulho, bens considerados inservíveis, papéis, restos de embalagens e alimentos.

IV) Entulhos de Obra

A indústria da construção civil é a que mais explora recursos naturais. Além disso, a construção civil também é a indústria que mais gera resíduos. No Brasil, a tecnologia construtiva normalmente aplicada favorece o desperdício na execução das

novas edificações. Enquanto em países desenvolvidos a média de resíduos proveniente de novas edificações encontra-se abaixo de 100kg/m^2 edificado, no Brasil este índice gira em torno de 300kg/m^2 edificado.

V) Resíduo Industrial

São os resíduos gerados pelas atividades industriais. São resíduos muito variados que apresentam características diversificadas, pois estas dependem do tipo de produto manufaturado. Devem, portanto, ser estudados caso a caso. Adota-se a NBR 10.004 da ABNT para se classificar os resíduos industriais: Classe I (Perigosos), Classe II (Não-Inertes) e Classe III (Inertes).

VI) Resíduo Radioativo

Assim considerados os resíduos que emitem radiações acima dos limites permitidos pelas normas ambientais. No Brasil, o manuseio, acondicionamento e disposição final do lixo radioativo está a cargo da Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN).

VII) Resíduo Agrícola

Formado basicamente pelos restos de embalagens impregnadas com pesticidas e fertilizantes químicos, utilizados na agricultura, que são perigosos. Portanto o manuseio destes resíduos segue as mesmas rotinas e se utilizam os mesmos recipientes e processos empregados para os resíduos industriais Classe I. A falta de fiscalização e de penalidades mais rigorosas para o manuseio inadequado destes resíduos faz com que sejam misturados aos resíduos comuns e dispostos nos vazadouros das municipalidades, ou o que é pior sejam queimados nas fazendas e sítios mais afastados, gerando gases tóxicos.

VIII) Resíduos de Serviços de Saúde

É aquela porção que pode estar contaminada com vírus ou bactérias patogênicas das salas de cirurgia e curativos, das clínicas dentárias, dos laboratórios de análises, dos ambulatórios e até de clínicas e laboratórios não localizados em hospitais, além de biotérios e veterinárias.

2.6 Composição dos Resíduos Sólidos Urbanos

No que se refere à composição do RSU brasileiro, os dados da tabela 2.2 mostram sua distribuição média.

Tabela 2.2: Brasil – Composição Média do RSU brasileiro

Itens	% Peso
Matéria Orgânica	55
Papel e Papelão	21
Plástico	8,9
Vidros	2,6

FONTE: ANDRADE, 2001

Para a tabela 2.3 verifica-se a composição dos resíduos sólidos em diversos países. Observa-se que em países de maior renda per capita respondem por alto percentual de resíduos inorgânicos na composição do RSU como vidro, papel, plástico e metal. Ao contrário, os países de menor renda apresentam resíduos com alto conteúdo de alimentos. Isso se explica pelo modo e estilo de vida adotada por esses países.

Tabela 2.3: Composição dos resíduos sólidos em diversos países - % do peso total

PAÍSES	ANO	METAL	PAPEL	VIDRO	ORGÂNICO	PLÁSTICO	OUTROS
Nigéria	1990	5	17	2	43	4	29
Suécia	1987	7	50	8	15	8	12
EUA	1983	9,2	42,7	10,3	14,6	1,7	21,5
Áustria	1992	4,9	40,3	8,1	22,4	9	15,3
Colômbia	1989	1	22	2	56	5	14
Dinamarca	1988	4,1	32,9	6,1	44	6,8	6,1
França	1992	3,2	49	9,4	16,3	8,4	13,7
Japão	1988	1,2	43,6	1	34	5,6	14,6
Hungria	1992	4,4	20	6,1	34,7	5,7	29,1

FONTE: RODRIGUES, 2001

2.7 Caracterização dos Resíduos Sólidos Urbanos

Além de conhecer os resíduos sólidos quanto a sua definição e classificações, também é importante quantificá-lo, o que pode ser feito por meio de caracterização física do sistema de coleta de lixo do município onde o resíduo está sendo gerado.

A pergunta: qual a importância de se caracterizar o lixo urbano? Pode ser respondida por meio das seguintes observações: caracterizar o lixo de uma localidade, ou determinar a composição física dos resíduos produzidos por uma população, é tarefa árdua, mas de primordial importância para qualquer projeto na área de resíduos sólidos (MATTOS, 2005).

Conforme o mesmo autor, independente da coleta ser comum ou seletiva, estudos sobre a composição percentual dos resíduos sólidos urbanos são muito importantes para os aspectos sanitário e social, atendendo os interesses coletivos ou do poder público.

Na tabela 2.4, tem-se a composição média dos Resíduos Sólidos Urbanos dos Estados Unidos. Percebe-se que os valores encontrados estão próximos, principalmente quando se considera as diferenças no modo de viver do povo americano e da região do estado. Sabe-se que o aumento da quantidade de alimentos pré-processados amplia a

presença de embalagens ao mesmo tempo em que reduz a parcela de matéria orgânica, o que explica a diminuição do resíduo de comida e aumenta de papel/papelão no resíduo sólido urbano do americano.

Tabela 2.4: Composição dos Resíduos Sólidos Urbanos - EUA

Componente do Resíduo	Resíduo em base úmida (%)	Umidade (%)	C (%)	H (%)	O (%)	N (%)	S (%)	Cinzas (%)
Resto de Alimentos	57	70	8	6,4	7,6	2,3	0,4	5
Papel Papelão	21,3	6	44	5,5	44	0,3	0,2	6
Madeira	3	10	55	6,6	31,2	4,6	0,1	2,5
Têxteis	3,4	20	49,5	6	42	0,2	0,1	2,5

FONTE: TCHOBANOGLOUS, 1996

Observa-se ainda que na Figura 2.3, os percentuais de matéria orgânica no lixo dos EUA são muito baixos, o que se deve ao estilo de vida americano que privilegia o uso de embalagens para o acondicionamento de alimentos.

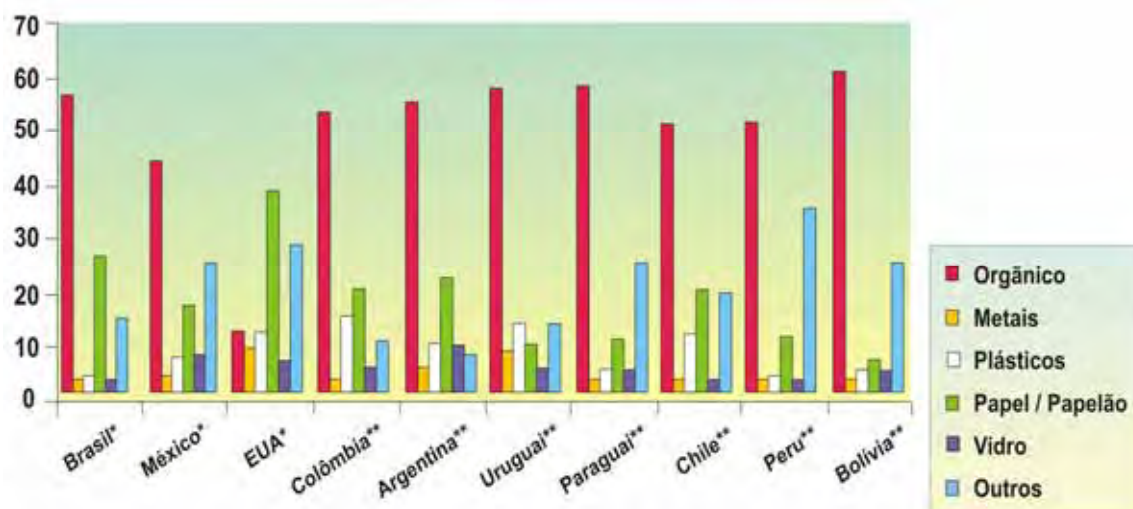


Figura 2.3: Composição de Resíduos Sólidos Urbanos em diversos países (%).

FONTE: CEMPRE, 2000

A tabela 2.5 apresenta a caracterização dos RSU de algumas cidades brasileiras.

Tabela 2.5: Caracterização física, em porcentagem de peso, dos Resíduos Sólidos de algumas cidades

CIDADE	ANO	PLÁSTICO	VIDRO	METAL	PAPEL	MATÉRIA ORGÂNICA	OUTROS
São Carlos (SP)	1989	8,5	1,40	5,40	21,30	56,70	6,70
Juiz de Fora (MG)	1990	10,78	1,36	3,23	14,60	68,12	1,91
Manaus (AM)	1992	8,62	2,18	4,31	18,94	58,69	7,26
Curitiba (PR)	1993	6,00	2,00	2,00	3,00	66,00	21,00
Rio de Janeiro (RJ)	1993	15,00	3,00	4,00	23,00	22,00	33,00
Araraquara (SP)	1996	12,10	0,84	2,80	2,10	82,16	-
Fortaleza (CE)	1999	20,00	5,00	5,00	5,00	45,00	20,00
Botucatu (SP)	2000	8,37	1,99	3,85	7,61	74,17	4,01
Caxias do Sul (RS)	2003	14,62	2,42	2,49	11,82	45,97	22,68

FONTE: MATTOS, 2005

2.8 Transporte de RSU

Os resíduos sólidos urbanos, após coletados, devem ser depositados em lugares apropriados e, se for o caso, transportados ao centro de tratamento.

Aplica-se o termo estação de transbordo às instalações onde se faz o traslado do lixo de um veículo coletor a outro veículo com capacidade de carga maior (AMBIENTAL, 2006).

Este segundo veículo é o que transporta o lixo até o seu destino final. Estas instalações, modelo da Figura 2.4, podem resumir-se a uma simples plataforma elevada, dotada de uma rampa de acesso, ou a um edifício sofisticado e de grandes dimensões.

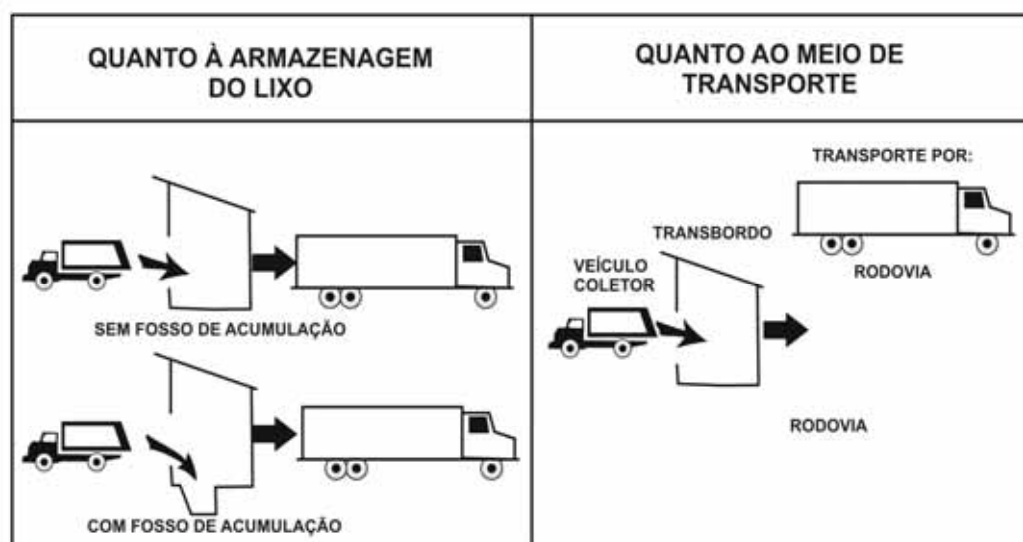


Figura 2.4: Estação de Transbordo

Fonte: AMBIENTAL, 2006

As vantagens do emprego de estações de transbordo se devem a:

- Redução do tempo ocioso do serviço de coleta (o veículo coletor e a mão-de-obra são utilizados exclusivamente na coleta);
- Possibilidade de término de serviço mais cedo (o lixo permanece um tempo mais curto na via pública) e;
- Possibilidade de maior flexibilidade na programação de coleta (por exemplo, utilização de veículo de menor capacidade com sua facilidade de manobra e sem o compromisso de transporte do lixo que é mais oneroso quando se usam estes veículos).

2.8.1 Veículos Transportadores

O equipamento de coleta de resíduos sólidos urbanos varia de modo significativo em relação ao tamanho e características. Sua capacidade influi

fundamentalmente no custo da coleta. A altura da carga deve ser tal que permita uma operação cômoda, sobretudo se o carregamento é manual. Existem vários tipos de veículos para a coleta de lixo: caminhão aberto, caminhão coberto e caminhão com compactação, entre os mais relevantes (GIRSMIA, 2006).

Os principais veículos utilizados na operação de coleta e transporte dos resíduos urbanos são os seguintes:

➔ *Caminhão coletor com caixa compactadora (normalmente denominado “caminhão compactador”)*

Estes veículos estão equipados com uma caixa compactadora que dispõe de uma bacia para a carga dos resíduos e um dispositivo de compactação que permite reduzir entre 3 e 5 vezes o volume dos resíduos.

A capacidade normal destes veículos é de 25 m³, representando em torno de 13.000 kg de resíduos.

➔ *Caminhão coletor com caixa fechada sem compactação (normalmente denominado tipo “prefeitura”)*

As características técnicas da caixa são similares à anterior em relação à corrosão, porém não dispõe de mecanismo compactador, o que resulta em uma menor capacidade de carga. A operação de coleta com este caminhão é mais lenta, em função de sua maior altura de carregamento. Possui portas corrediças na parte superior. Sua descarga é rápida, por sistema de basculamento. São fabricados com capacidades de até 15 m³, ou seja, em torno de 7.800 kg.

Costumam ser utilizados em pequenos núcleos urbanos com pequena densidade de geração de lixo. Também são empregados em áreas de maior densidade para a remoção de restos de árvores e resíduos de limpeza de logradouros.

Para evitar a dispersão ou derrame de resíduos durante o seu transporte, esta operação deverá observar vários requisitos, tanto quanto ao acondicionamento e

carregamento dos resíduos, quer quanto a obrigações a respeitar quando ocorra algum derrame.

2.9 Formas de Tratamento e Disposição dos RSU

2.9.1 Reciclagem

A reciclagem pode ser definida como a re-introdução dos resíduos no processo produtivo para serem re-elaborados, gerando um novo produto. Mas, para que isto ocorra, deve-se tomar o devido cuidado para que esses resíduos sejam realmente encaminhados à sua reutilização, e não aos lixões.

Tal técnica, na visão de Castro (2002), é a opção mais importante para a qualidade de vida ambiental e humana, já que a sua adoção gera direta e indiretamente empregos e evita os problemas ambientais, sociais e de saúde pública (pela diminuição da quantidade de lixo a ser aterrado e incinerado), além do baixo custo quando comparada aos outros métodos.

Anualmente o CEMPRE informa resultados para a reciclagem nos segmentos de papéis. Em 2006, o Brasil reciclou 3,5 milhões de toneladas, o que representa uma taxa de recuperação de 45,4%. Existem 175 empresas recicladoras, onde 132 consomem mais de 50% do total de fibras e o restante utiliza menores quantidades de aparas. As regiões que mais reciclam são a Sudeste (53,5%) e a Sul (36,6%) – as outras totalizam, juntas, apenas cerca de 10%. Nos índices de reciclagem, o destaque fica com o papel para embalagem que atinge quase 70% de taxa de recuperação (CEMPRE, 2006).

Para o resíduo urbano no Brasil entre 2003 e 2005, o volume reciclado passou de 5,2 milhões de toneladas anuais para 5,76 milhões de toneladas no ano, ou seja, uma elevação de quase 11% no total.

A taxa de reciclagem da fração seca (77 mil toneladas/dia) do lixo urbano é de 18%, sendo que 55% do lixo urbano brasileiro é composto de matéria orgânica.

Na tabela 2.6 encontra-se o percentual de segregação média dos materiais recicláveis no Brasil, segundo informações do CEMPRE.

Tabela 2.6: Percentual de Segregação Média do Lixo Urbano no Brasil

PERCENTUAL DE SEGREGAÇÃO	
Material	%
Papel e Papelão	38
Plástico	20

Fonte: POLLETO, 2008

2.9.2 Compostagem

Diante disso, algumas outras técnicas de gerenciamento de resíduos sólidos urbanos (incineração e reciclagem) têm sido estudadas e testadas como alternativas à aterragem. A compostagem é uma das mais antigas técnicas de reciclagem até por ser um processo natural, que consiste em processar materiais orgânicos, ricos em nutrientes, que ao serem decompostos por microorganismos aeróbios e anaeróbios são utilizados como adubo (CASTRO, 2002).

Uma das vantagens da compostagem é o fato do adubo produzido prevenir o solo contra erosões, além de aumentar sua umidade, controlar seu pH (impedindo a alcalinização ou acidificação do solo) e fornecer importantes nutrientes ao mesmo. Mas esse tipo de descarte de resíduos só serve para materiais orgânicos, pois outros tipos de materiais podem ser prejudiciais ao solo (tornando-o poluído).

2.9.3 Coleta

No Brasil boa parte do RSU coletado é disposto em vazadouros, sem qualquer tipo de tratamento. Conforme a tabela 2.7, nas regiões Norte e Nordeste a parcela do lixo recolhido que é jogada em vazadouros é bem maior - em torno de 90%. Na Região Norte, dentro desses 90%, aproximadamente 23% são jogados em áreas alagadas.

Nas regiões Sul e Sudeste o quadro é menos dramático, principalmente para os municípios com mais de 300 mil habitantes, onde a maior parte do lixo coletado recebe tratamento adequado.

É importante destacar que nas regiões Norte e Nordeste, apenas cerca de 10% de todo o lixo coletado recebe algum tipo de tratamento.

Tabela 2.7: Brasil – destino final do RSU (%)

Grandes Regiões	Lixões	Aterro			Usina		
		Controlado	Sanitário	Total	Compostagem	Reciclagem	Total
Norte	89,7	4	3,7	7,7	2,6	0	2,6
Nordeste	90,7	5,4	2,3	7,7	0,7	0,7	1,4
C. Oeste	54	27	13,1	40,1	5	0,3	5,3
Sudeste	26,6	24,6	40,5	65,1	4,4	3,5	7,9
Sul	40,7	52	4,9	56,9	1	1,2	2,2
Brasil	49,3	21,9	23,3	45,2	3	2,2	5,2

FONTE: IBGE, 1990

O destino desta enorme quantidade de lixo gerado é o seguinte, de acordo com o referido levantamento:

- céu aberto - 76%;
- aterro sanitário - 10%;
- aterro controlado (sem impermeabilização, sistema de tratamento de lixo e controle de gases) - 13%;
- usina de compostagem - 0,9% e;
- usina de incineração - 0,1%.

A tabela 2.8 mostra a situação do tratamento e a disposição final do lixo em alguns países desenvolvidos e na América Latina.

Tabela 2.8: Destino dos resíduos sólidos urbanos em diversos países em %

País	Geração de lixo (milhões t/ano)	% de lixo Incinerado	% de Recuperação de Energia
Suíça	2,9	80	80
Japão	44,5	72	Principais
Dinamarca	2,6	65	100
Suécia	2,7	59	100
França	18,5	41	68
Holanda	7,1	39	50
Alemanha	40,5	30	Não disponível
Itália	15,6	17	30
Estados Unidos	180,0	19	75
Espanha	11,8	15	24
Reino Unido	35	5	25

FONTE: MENEZES, 2000

2.9.4 Aterragem

O aterro sanitário é uma das formas para a disposição final de resíduos sólidos gerados pela atividade humana. Nele são dispostos resíduos domiciliares, comerciais, de serviços de saúde, da indústria de construção.

No que se refere à aterragem, ao contrário da deposição comum, é uma forma de disposição final de resíduos sólidos urbanos mais adequada, que minimiza os impactos ambientais (quando devidamente controlada), por não gerar danos ou riscos à saúde pública (CASTRO, 2002). A aterragem pode ocorrer de duas maneiras: o aterro controlado e o aterro sanitário.

Os aterros controlados são locais onde o RSU é confinado, sendo coberto por uma camada de material inerte ao final de cada coleta; já os aterros sanitários são locais em que há a acomodação do lixo em solo compactado em camadas sucessivas e depois cobertas por material inerte. Neste último tipo de aterro é realizada a drenagem de gases

e percolados, que se não for feita gera mal cheiro, contaminação dos lençóis freáticos e atrai vetores (pássaros, roedores, animais peçonhentos, etc).

Pelos relatos de Bizzo (1994), alguns fatores têm dificultado a continuidade da aplicação desse procedimento tradicional (aterragem). Pois com o crescimento dos grandes centros urbanos, as áreas que normalmente poderiam vir a ser utilizadas para aterros vem sendo ocupadas por moradores.

Castro (2002) também constata que o Poder Público não faz as devidas manutenções nos aterros, transformando-os em meros lixões que tem como conseqüências àquelas já relatadas para a deposição comum.

2.9.5 Geração de Energia a partir de Resíduos Sólidos Urbanos

A geração dos resíduos sólidos está diretamente relacionada ao Produto Interno Bruto, portanto à renda dos países e ao porte das cidades e suas principais atividades produtivas. A geração de energia pela queima do RSU pode ser realizada adotando-se ou uma central termelétrica convencional ou uma central de co-geração.

A diferença básica em termos de configuração entre esses dois sistemas de geração de eletricidade está na presença de uma unidade de processo industrial, na central de co-geração que aproveitaria o vapor produzido no ciclo durante a incineração do RSU.

Essa prática pode ser considerada uma alternativa positiva se comparada ao atual estágio de geração de energia. O projeto é idealizado para a incineração de lixo com recuperação de energia e minimiza, portanto, as emissões de metano e a demanda por aterros, além de prover energia elétrica. Para reduzir suas próprias emissões, foi desenvolvido um processo inovador de lavagem do gás de combustão à base de um circuito fechado de água.

Para Hauser (2006) o primeiro passo é o recebimento dos RSU e a seleção de materiais recicláveis: os RSU recebidos são armazenados em um silo que alimenta uma esteira. O ar desagradável é aspirado e enviado diretamente para a câmara de combustão. Antes da incineração, o lixo é secado com o uso de calor excedente do

processo. O lixo selecionado e secado é denominado combustível derivado de resíduos (CDR).

O segundo passo do processo é a incineração e recuperação de energia: o CDR é dirigido à câmara de combustão, que opera em uma temperatura mínima de 850°C.

A cinza produzida é retirada com o uso de uma corrente de água no fundo da câmara. Os gases de combustão são conduzidos à câmara de pós-combustão, onde a temperatura é superior a 1000°C e um excesso de oxigênio garante a total oxidação.

Os gases quentes gerados são conduzidos para uma caldeira de recuperação de calor, onde se cria vapor pressurizado para impulsionar o turbo gerador que fornece eletricidade. Depois do processo de geração, o vapor é condensado e a água retorna ao processo inicial.

O próximo passo é a lavagem dos gases de combustão. Os gases de combustão são conduzidos ao equipamento de lavagem. O primeiro passo é aspergir água no gás de combustão para reduzir a temperatura e dissolver os gases ácidos. Depois, o gás é conduzido por um tubo cruzado por cortinas d'água produzidas por hélices em movimento. A passagem do gás de combustão através destas cortinas d'água leva à sua purificação. Depois, os gases são secos e liberados por meio da chaminé. O processo completo de lavagem do gás de combustão é feito sob pressão negativa e a água é reutilizada.

O último passo é a precipitação e decantação de sólidos das águas usadas. A cinza produzida na câmara de combustão é retirada por um fluxo de água e conduzida à câmara de decantação primária. Partículas sólidas se sedimentam no fundo da câmara e os componentes dissolvidos e alcalinos são transportados para uma segunda câmara de decantação. Ali, a solução alcalina é neutralizada com a água ácida residual do processo de lavagem do gás de combustão, levando à precipitação de sais que podem ser periodicamente removidos do fundo da câmara. Se sua composição for adequada, eles podem ser usados como nutrientes agrícolas, na construção civil ou depositados em um aterro adequado.

O problema da destinação dos resíduos sólidos urbanos tem se transformado em um dos maiores desafios da gestão pública no país, tendo em vista os graves impactos ambientais gerados pelos “lixões” (aterros sanitários fora de especificações e

sem controle sanitário) ou mesmo pelo esgotamento da capacidade dos aterros sanitários regulares. Além dos problemas ambientais, os altos custos para operação dos processos, há uma grande rejeição da sociedade à deposição de qualquer resíduo próximo à sua residência, tanto pelos odores desagradáveis como pela desvalorização econômica que produzem ao patrimônio imobiliário.

A conversão de resíduos sólidos urbanos em energia é considerada em todo mundo desenvolvido uma opção ambientalmente favorável, tratando-se de uma fonte de energia “limpa, confiável e renovável” gerando energia elétrica com menor impacto ambiental do que a maioria das outras fontes energéticas.

Esse processo de aproveitamento energético não elimina a reciclagem de materiais, que é a primeira e mais importante etapa, mas trata-se de uma solução adequada para o restante dos resíduos que por alguma razão não foram separados previamente. Desta forma, há duas possibilidades para disposição dos resíduos após a remoção dos recicláveis: depósito em aterros sanitários ou usá-los no processo de conversão em energia “limpa” e renovável.

No caso do Brasil, segundo o IBGE, se a produção de resíduos sólidos urbanos forem mantidas nas mesmas proporções, poderiam gerar até 5.000 MW médios, o que representa quase uma nova Usina de Itaipu, ou quase o dobro do que se espera gerar no polêmico complexo do Rio Madeira (PENA, 2007). É importante dizer que essa produção seria apenas se os resíduos fossem totalmente convertidos em energia elétrica com um rendimento energético de aproximadamente 30%. Caso fossem implementados processos de cogeração e aproveitamento integral do calor no processo, o coeficiente de aproveitamento energético, depois da combustão, chegaria até a 88%, o que significaria dizer que o aproveitamento energético dos resíduos em termos de país significaria mais de 10.000 MW médios equivalentes.

O processo de conversão de lixo em energia é empregado nos países desenvolvidos (Europa e América do Norte) há mais de 25 anos, e o atual “estado da arte” garante uma das formas mais “limpas” de geração de energia elétrica. O maior avanço tecnológico obtido foi no controle da qualidade do ar a partir da queima dos resíduos, de modo que atualmente atingem ou mesmo superam os mais exigentes padrões de qualidade estabelecidos pelas Agências de Proteção Ambiental empregando

processos de múltiplos estágios de tratamento das emissões gasosas da combustão, obtendo alta performance de controle ambiental (trata mais de 99% das emissões gasosas).

Um importante dado observado é que nas regiões nas quais estão instaladas as usinas de conversão de resíduos em energia, o índice de reciclagem é superior à média nacional, principalmente devido ao fato dessas usinas serem parte de um processo integrado de gestão regional de resíduos sólidos, no qual toda comunidade participa efetivamente. Inclusive, as empresas operadoras das usinas, mantém programas permanentes de educação ambiental que orientam a comunidade envolvida no processo para a melhor forma de aproveitamento dos resíduos. Além disso, a maior parte dos metais contidos nos resíduos (não separados no processo de coleta seletiva) são recuperados após separação das cinzas (PENA, 2007).

Para se ter uma idéia do impacto positivo dessa tecnologia, nos Estados Unidos, para cada tonelada de resíduos processado em uma planta de conversão de resíduos em energia, é evitada a importação de um barril de petróleo, ou é evitada a extração de um quarto de tonelada de carvão mineral.

As usinas com aproveitamento energético de RSU não só diminuem a dependência de combustíveis fósseis, mas também previnem a emissão de centenas de milhões de toneladas de CO₂ por ano para a atmosfera.

2.9.6 Incineração

Esta tecnologia tem como principal atrativo sua possibilidade de diminuir para valores entre 4% e 10% do volume total de resíduos a ser destinado ao aterro sanitário, além de ser eficiente na conversão de energia com resíduos. As cinzas são os subprodutos deste método e, por serem inertes, já existem alguns estudos que mostram a viabilidade de sua aplicação na construção civil (tijolos, recapeamento de estradas, etc).

A incineração tem sido utilizada como um método para processar resíduos desde o início do século. Durante as últimas décadas ela tem sido amplamente utilizada, e atualmente é vinculada ao aproveitamento energético.

O primeiro incinerador municipal no Brasil foi instalado em 1896 em Manaus para processar 60 toneladas por dia de lixo doméstico, tendo sido desativado somente em 1958 por problemas de manutenção. Um equipamento similar foi instalado em Belém e desativado em 1978 pelos mesmos motivos (MENEZES, 2000).

No Município de São Paulo, os serviços de limpeza urbana, entendidos, principalmente, como a coleta e a remoção do lixo domiciliar e de animais mortos, iniciaram em 1869 e utilizavam carroças de tração animal. Em 1913 foi instalado em São Paulo, no bairro de Araçá (Sumaré) um incinerador com a capacidade de 40 t/dia (cerca de 100 carroças por dia). Este antigo incinerador utilizava a queima de lenha para manter a temperatura de combustão do lixo e a alimentação do lixo no forno era realizada manualmente. O incinerador de Araçá manteve-se em operação por cerca de 27 anos, até a década de 40, quando foi desativado e demolido. Isto se deu devido ao aumento da quantidade de lixo coletada que ultrapassava a capacidade do incinerador e por se encontrar muito próximo de residências (MENEZES, 2000).

A incineração no Brasil ainda se caracteriza pela existência de grande quantidade de incineradores de porte muito pequeno, instalados em hospitais, casas de saúde, espalhados pelo país. São equipamentos muito simples, com capacidades inferiores a 100 kg/hora. A grande maioria destes, com honrosas exceções, está hoje desativada ou incinerando de forma precária, em geral com emissões bastante elevadas. A razão principal para tanto é que estes equipamentos são geralmente mal operados, e mantidos de forma inadequada. Isto se deve ao conceito generalizado de que trabalhar com lixo é uma punição, e as instituições acabam por mandar os funcionários menos qualificados para estes postos e dão atenção mínima para treinamento e reposição dos mesmos. Naturalmente, o foco principal da administração de um hospital terá que ser sempre no atendimento a seus pacientes e nos problemas de ordem médica, e não nas técnicas de gerenciar e tratar lixo. Com raras exceções, a colocação de incineradores em hospitais acaba por não dar certo, ou daria certo por curto período de tempo. Para que se tenha a garantia da proteção ao meio ambiente, os resíduos de serviços de saúde deveriam ser gerenciados nas instituições de saúde, separando-o e acondicionando-o em embalagens padronizadas, e depois o levando à plantas de destruição térmica operados por equipes qualificadas, municipais, públicas ou privadas (MENEZES, 2000).

2.9.7 Aspectos Ambientais na Incineração de Resíduos

Cada etapa da incineração tem um impacto diferente. Os impactos de cada um desses estágios da incineração são apresentados de forma categorizados. Estudos prévios (HENRIQUES, 2004) têm mostrado que os maiores impactos ambientais da incineração são produzidos por:

- Construção da planta (barulho, emissão, acidentes, efeito do ecossistema local);
- Coleta e transporte dos RSU (barulho, transporte, emissão, acidentes, odores);
- Impactos secundários do incinerador (barulho, intrusão visual, odor, etc.);
- Transporte e disposição das cinzas de resíduos (incluindo tecnologia do abatimento de resíduo) e;
- Combustão de resíduos (emissões atmosféricas, incluindo emissões de traços de dioxinas e metais pesados).

O impacto mais importante da incineração são as emissões da combustão dos RSU (HENRIQUES, 2004). As emissões atmosféricas da combustão de resíduos são típicas para a maioria dos combustíveis sólidos, consistindo em dióxido de carbono (CO_2), óxidos de nitrogênio (NO_x) e dióxido sulfúrico (SO_2). De qualquer forma, os níveis de emissões são geralmente maiores (por kWh produzidos) que a maior parte das fontes fósseis.

As emissões individuais dos poluentes vindos de uma planta de incineração irão variar de acordo com a tecnologia. Muitos dos poluentes da incineração podem ser minimizados pelo processo de combustão com a composição exata dos resíduos, dependendo muito da região escolhida e das políticas de gestão de resíduos como as iniciativas de reciclagem.

Deve-se avaliar também a questão de formação de dioxinas e furanos devidos ao processo de incineração. As altas temperaturas de queima quebram as ligações químicas, atomizando macromoléculas e praticamente zerando a possibilidade de formação de dioxinas e furanos. Como exposto na descrição da tecnologia, utiliza-se adicionalmente, carvão ativado em leitos pós-combustão que adsorvem eficientemente qualquer resquício de dioxinas e furanos, bem como de metais voláteis. Com a utilização de duas câmaras de combustão, funcionando adequadamente e com o rápido resfriamento dos gases de combustão, atingem-se níveis de dioxinas menores do que 0,14 nanogramas/m³.

2.9.8 Vantagens e Desvantagens da Incineração de RSU

Para Henriques (2004), dentre os benefícios da incineração de resíduos, destacam-se a redução do volume requerido para disposição em aterros e a recuperação de energia durante a combustão pode ser utilizada para a produção de eletricidade ou combinado calor e energia.

A incineração de resíduos pode também ter impactos ambientais negativos. Em particular, tem havido consenso sobre algumas emissões atmosféricas da incineração, notadamente metais pesados e compostos orgânicos como dioxinas. Isso resultou na introdução de limites restritos de emissões e avançadas tecnologias de abatimento de gases. Embora estes passos tenham reduzido consideravelmente o nível dessas emissões, novos projetos de incineradores ainda podem encontrar grande oposição do público (IEA, 1997).

Entre as vantagens deste uso podem-se citar:

- Resulta em uso direto da energia térmica para geração de vapor e/ou energia elétrica;
- Alimentação contínua de resíduos;
- Relativamente sem ruído e sem odores e;
- Requer pequena área para instalação.

Entre as desvantagens tem-se:

- Inviabilidade com resíduos de menor poder calorífico e com aqueles clorados;
- Umidade excessiva e resíduos de menor poder calorífico prejudicam a combustão;
- Necessidade de utilização de equipamento auxiliar para manter a combustão;
- Metais tóxicos podem ficar concentrados nas cinzas e;
- Altos custos de investimento, de operação e manutenção.

2.10 Tecnologia para a incineração

Existem hoje diversas tecnologias para a incineração de resíduos. O desenvolvimento destas tecnologias reflete o interesse crescente em superar as dificuldades, e usa este estímulo para propor alternativas que viabilizem esta operação.

Dentre as várias alternativas destacam-se: a combustão de sais fundidos, onde os resíduos são aquecidos a cerca de 900° C e destruídos ao serem misturados com

carbonato de sódio (Na_2CO_3) fundido; os incineradores de leito fluidizado, onde o material sólido granulado – como calcário, areia ou alumina – é suspenso no ar (“fluidizado”) por meio de um jato de ar e os resíduos são queimados no fluido a cerca de 900°C , e a oxidação dos gases de combustão é completada em uma câmara de combustão secundária; e os incineradores de plasma, que podem atingir temperaturas de até 10.000°C por meio da passagem de uma forte corrente elétrica através de um gás inerte, como argônio.

O plasma é constituído por uma mistura de elétrons e íons positivos e pode decompor compostos com sucesso, produzindo emissões muito menores do que os incineradores tradicionais (BAIRD, 2002).

2.10.1 Descrição do Processo de Incineração

A incineração emprega alta temperatura de fornos para queimar resíduos que entram em combustão completa. Isso garante o tratamento sanitário e a destruição de componentes orgânicos e minimiza a presença de resíduos combustíveis nas cinzas resultantes.

Este processo pode aceitar resíduos com pouco pré-processo ou tratamento, embora esteja havendo um esforço considerável de alguns países para o desenvolvimento de resíduos destinados a aquecedores industriais. Geralmente isso é requerido para que haja remoção de componentes grandes antes do abastecimento da câmara de combustão. Atualmente o processo de incineração mais popular é o de duplo estágio. Inicialmente, o resíduo é queimado na câmara primária, que é a receptora direta do lixo, em uma temperatura suficientemente alta para que algumas substâncias presentes se tornem gases e outras assumam a forma de pequenas partículas. Nesse dispositivo, a temperatura de operação varia tipicamente entre 500°C e 900°C . Em todas as configurações, a alimentação de oxigênio nessa câmara é sub-estequiométrica, evitando-se assim gradientes elevados de temperatura. Nessas condições controladas, evita-se a volatilização de grandes quantidades de metais presentes no lixo, como chumbo, cádmio, cromo, mercúrio, entre outros. Além disso, minimiza-se a formação de óxidos nitrosos, que surgem apenas sob temperaturas mais elevadas.

Já a fase gasosa gerada na câmara primária é encaminhada para a câmara secundária. Essa mistura de gases e partículas é, então, queimada a uma temperatura mais alta por um intervalo de tempo suficiente para que haja a combustão completa. Tempo de residência representativo para resíduos sólidos é de 30 minutos para o primeiro estágio e de 2 a 3 segundos para a combustão dos gases no segundo estágio. Nesse caso, a atmosfera é altamente oxidante (excesso de oxigênio) e a temperatura de projeto varia normalmente entre 750°C a 1250°C. Os diversos gases gerados na câmara anterior são oxidados a CO₂ e H₂O. Nessa temperatura, a probabilidade de existência de moléculas com grande número de átomos como dioxinas e furanos, compostos altamente nocivos aos seres humanos, é praticamente zero (ARANDA, 2001).

Dependendo da composição dos resíduos a serem incinerados, nem sempre é possível manter este patamar de temperatura, daí a necessidade e obrigatoriedade da queima de combustível auxiliar. Também, por força de lei, este combustível deve ser gasoso, o que leva a utilização de GLP ou gás natural na maioria dos incineradores operando no Brasil.

Os gases provenientes desta segunda etapa passam por um sistema de redução de poluição, que consiste em vários estágios (por exemplo: scrubber para a remoção de ácido no gás, precipitador eletrostático para a remoção de poeira e/ou filtros para a remoção de partículas finas), antes de serem expelidos para a atmosfera via uma chaminé. As restritas regulamentações de emissões algumas vezes requerem o uso de carvão ativo no sistema de filtração, para que haja redução da emissão de mercúrio e dioxinas.

A Figura 2.5 ilustra um esquema representativo de uma câmara de combustão. Como pode ser visto, o lixo entra na primeira câmara onde é injetado ar e, se necessário, um combustível auxiliar. Os gases sobem para a segunda câmara onde mais ar é injetado. Após esta etapa os gases seguem para o sistema de tratamento. Os descartes (ou cinzas) ficam depositados na primeira câmara e são retirados depois.

Após a incineração, a parte sólida é tirada da grelha. A quantidade deste material sólido após o processo de incineração varia de 12 a 30% em massa (de 4 a 10% em volume) do material original e tem o aspecto de cinza, sendo um material totalmente esterilizado e apto para ser aterrado ou mesmo aplicado à construção civil (tijolos,

recapeamento de estradas, etc.). Uma pequena quantidade de finas partículas é carregada para fora da câmara de combustão pela exaustão dos gases (frequentemente cinzas aquecidas); isso é coletado no precipitador ou no filtro (HENRIQUES, 2004).

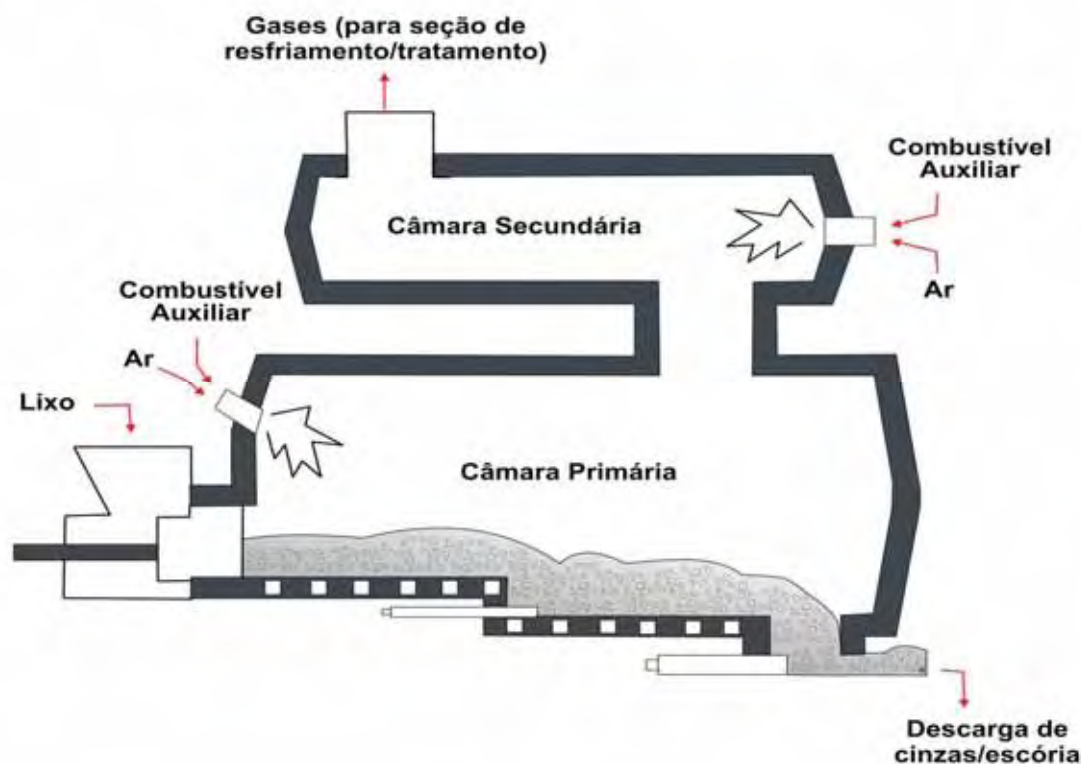


Figura 2.5: Esquema Representativo de Dupla-Câmara de Combustão

FONTE: HENRIQUES, 2004

Do lixo brasileiro, 65% de material orgânico serve como combustível para incineração (IPT, 1998). No entanto, ambas as câmaras necessitam de injeção de combustível auxiliar, que pode ser gás natural, GLP ou óleo diesel. Vale dizer que os parâmetros de projeto e construção do forno tais como: material refratário, isolante térmico, interface refratário-aço, queimadores, sopradores e a sincronia entre as câmaras são pontos fundamentais para minimizar a quantidade necessária de combustível auxiliar injetado, muitas vezes utilizado somente para a partida do incinerador. Dependendo do poder calorífico do lixo é possível que nenhum combustível seja adicionado.

O processo de combustão em incineradores, oferece como produto final:

- gás carbônico (CO_2);
- óxidos de enxofre (SO_x);
- óxidos de nitrogênio (NO_x);
- oxigênio (O_2);
- vapor d'água;
- cinzas e;
- escória.

O gás carbônico, os óxidos de enxofre (principalmente SO_2) e nitrogênio (NO_2) tem origem na própria natureza dos resíduos. O SO_2 tem baixa concentração e é precipitado juntamente com as cinzas.

O nitrogênio, que por vezes é emitido, é proveniente, em parte, do ar injetado para a combustão e parte do próprio resíduo.

As cinzas representam a fração não volatilizada e a escória, os restos de metais ferrosos e inertes (vidro por exemplo).

Quando a operação de um incinerador não é bem conduzida, resultando em combustão incompleta, ocorre o aparecimento de monóxido de carbono (CO) e material particulado (fuligem). No caso de ocorrer queima a altas temperaturas, o nitrogênio pode ser dissociado, levando à formação de óxidos de nitrogênio como NO e N_2O_5 . Alterações de temperatura e pressão durante o processo podem levar à um estado de equilíbrio químico de tal forma que a reação de combustão é inibida completamente (SILVA, 1998).

A eficiência do processo de incineração, reside em dois pontos fundamentais:

- 1) manutenção da mistura ar-combustível nos níveis exigidos pelo projeto, o que é obtido regulando-se a quantidade de ar injetado.
- 2) transferência da maior quantidade de calor gerado durante a combustão, para a massa de resíduos a ser incinerada.

Henriques (2004), trabalhando na UFRJ, obteve o valor de 2,66 MWh/t, do RSU do campus para o material seco. Caso o material fosse incinerado sem a prévia secagem, seu poder calorífico seria de apenas 0,7 MWh/t de RSU. Este fato denota a relevância da secagem do material, rico em matéria orgânica, antes de ser levado para a incineração.

Atualmente, existem incineradores no mercado que apresentam grande eficiência de queima com baixo consumo de combustível e baixo teor de emissões. De forma conservadora, os gases que saem da segunda câmara de combustão, apesar da eficiência da queima, carecem ainda de um tratamento adicional, que em muitos casos funciona como uma precaução adicional de segurança (IEA, 1997).

2.10.2 Componentes de uma planta Incineradora

Até 1950 as plantas de incineração eram compostas de um forno e uma chaminé apenas. As plantas modernas como da Figura 2.6 têm que executar uma operação muito mais complexa do que apenas reduzir o volume e o peso do lixo através da incineração.

Essa instalação moderna de incineração de resíduos sólidos urbanos é constituída por:

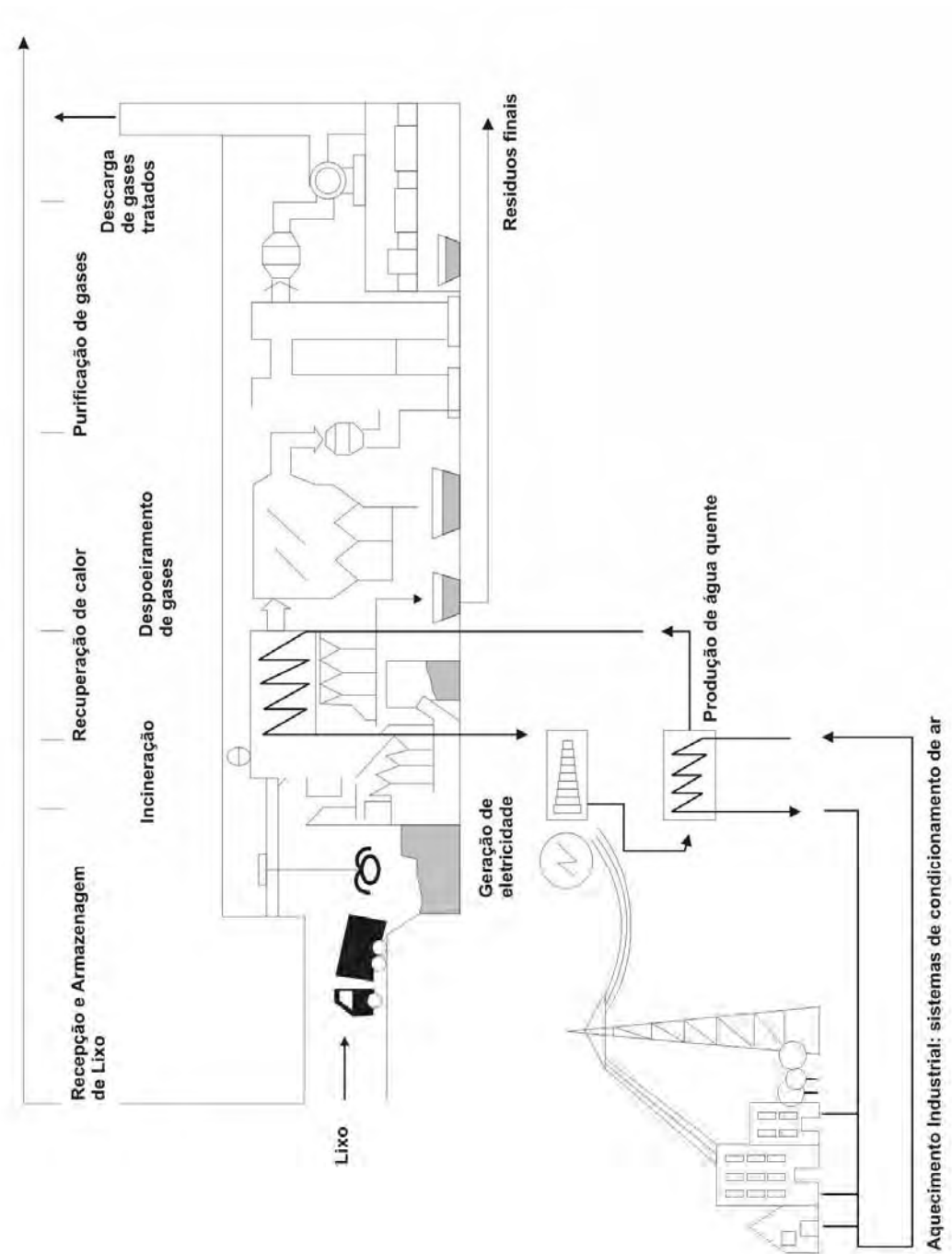


Figura 2.6: Fluxograma típico de uma planta de incineração com geração de energia

FONTE: MENEZES, 2000

- Fossa de deposição de resíduos;
- Balde de garra para alimentação da câmara de combustão;

- Alimentador da câmara de combustão por grelhas;
- Câmara de combustão (onde os resíduos são queimados);
- Pós – combustão;
- Tratamento dos Gases e;
- Distribuição.

2.10.3 Tipos de Incineradores

A Unidade de Combustão constitui a parte fundamental de uma planta incineradora de resíduos perigosos, porque o seu funcionamento depende da capacidade de destruir de forma eficaz os resíduos orgânicos. Há diferentes tipos de tecnologias aplicadas na queima de resíduos perigosos que incluem os fornos rotativos, sistemas de injeção de líquido e sistemas em leito fluidizado.

a) Incinerador de Resíduos do tipo Rotativo (Sólidos e Líquidos)

A maioria das incineradoras comerciais de resíduos perigosos é do tipo forno rotativo devido à sua maleabilidade e capacidade para tratar diferentes tipos de resíduos. Os fornos rotativos da Figura 2.7 podem processar resíduos na forma líquida e sólida, aceitando também resíduos em contentores fechados e materiais menos comuns como munições. Os fornos rotativos utilizados na incineração de resíduos perigosos são constituídos tipicamente por duas partes: o forno rotativo propriamente dito e a câmara de pós-combustão (afterburner). O forno rotativo é formado por uma carcaça cilíndrica em aço, revestida internamente com refratário, com diâmetro de 4,5 a 6 metros e com uma razão comprimento/diâmetro entre 2:1 e 10:1. A carcaça encontra-se numa posição

quase horizontal, com um ângulo de 2-4°, e gira segundo o seu eixo com uma velocidade de 0,5-2 rotações por minuto. A câmara de pós-combustão situa-se no final do forno rotativo, e recebe os gases e cinzas dele provenientes. Na câmara de pós-combustão completa-se a queima dos gases, iniciada no forno rotativo (GABAI, 2004).

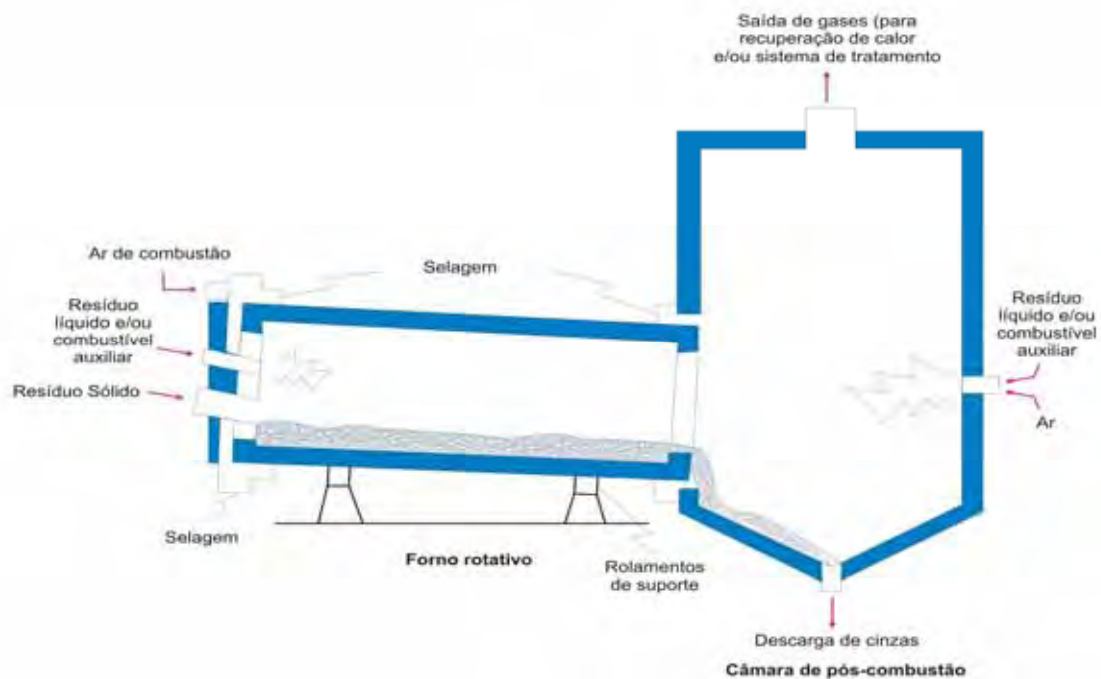


Figura 2.7 Incinerador do Tipo Rotativo

FONTE: GABAI, 2004

b) Incinerador de Resíduos Líquidos

O incinerador de resíduos líquidos tem uma capacidade de queima de 10.000 t/ano. Como indica a Figura 2.8, o sistema é composto de uma câmara de combustão, onde estão localizados quatro injetores de resíduos líquidos, um injetor de resíduos gasosos, três queimadores para gás combustível e um queimador para águas contaminadas. Os gases de combustão gerados são resfriados e lavados quimicamente, permitindo à planta superar os padrões legislados de emissões atmosféricas. O equipamento tem eficiência de remoção e destruição para resíduos líquidos em geral de 99,99% (GABAI, 2004).

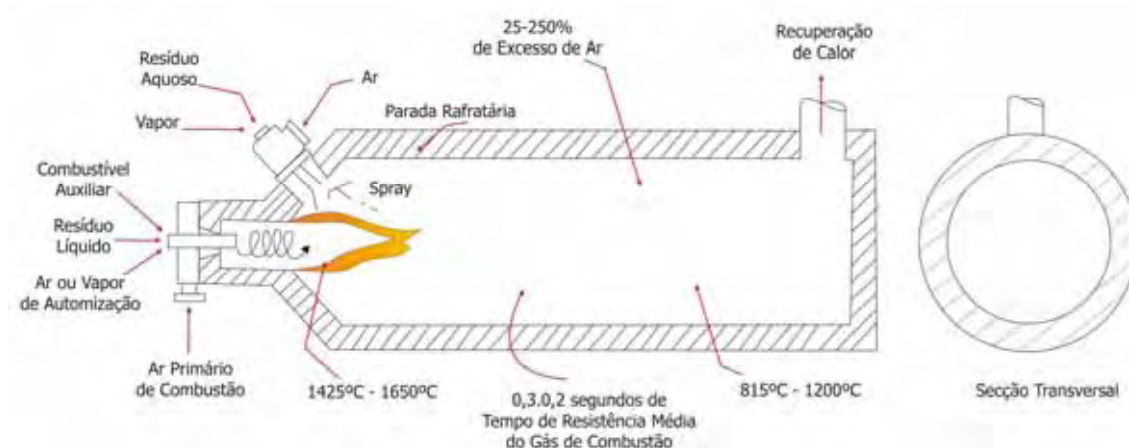


Figura 2.8: Incinerador de Resíduos Líquidos

FONTE: GABAI, 2004

c) Incinerador do Tipo Leito Fluidizado

No equipamento da Figura 2.9 os resíduos são carregados de forma triturada e são fluidizados pelo ar de combustão. A temperatura ótima de operação está entre 450 e 1000°C. Para manter uma temperatura de combustão à 850°C, é necessário dispor de resíduos com PCI maior que 2 MJ/kg. Nas instalações mais recentes, o ar é pré-aquecido entre 420 e 650°C, o que melhora a eficiência do sistema. A agitação do leito pelo ar de fluidização permite a combustão completa. É possível melhorar a combustão por meio de recirculação no seio do leito (leito fluidizado rotativo) pela inserção de placas defletoras que asseguram maior eficiência de transferência de calor (SILVA, 1998).

As vantagens desta tecnologia são, principalmente:

- facilidade na concepção e na manutenção;
- eficácia da combustão;
- redução de tamanho do equipamento;

- pouca emissão de NO_x , pelo fato de operar com gás a baixa temperatura e mínimo excesso de ar e;
- a temperatura do leito é relativamente uniforme.

Os inconvenientes são, principalmente, aquelas relacionados com a impossibilidade de tratar todos os tipos de resíduos, em particular certos tipos de compostos orgânicos que podem causar formação de aglomerados.

Existem instalações deste tipo operando nos EUA, na Alemanha, Itália e França.

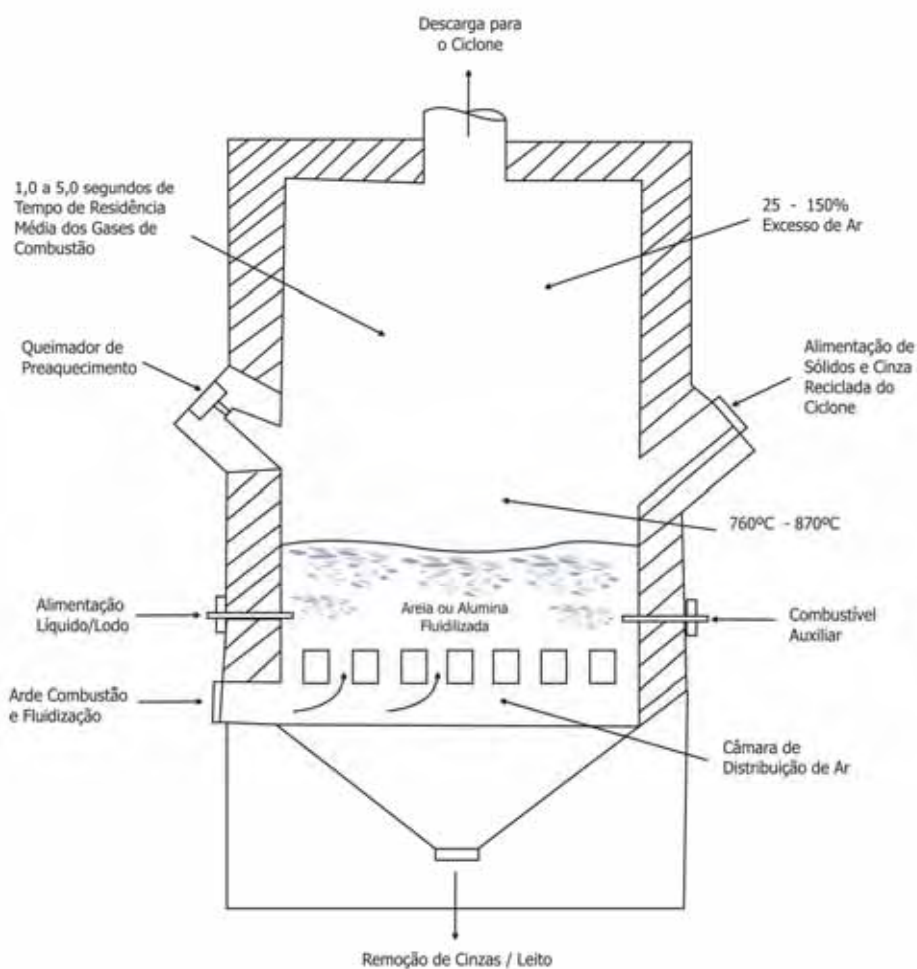


Figura 2.9: Incinerador de Leito Fluidizado

FONTE: GABAI, 2004

2.10.4 Tratamento dos Gases de Combustão

O tratamento desses gases envolve processos físicos e químicos, havendo uma grande variedade de opções de conformação e equipamentos. A primeira etapa consiste em resfriar os gases que saem entre 1000°C e 1200°C da câmara secundária. Nessa etapa, além de resfriarem-se os gases de combustão gera-se vapor d'água que pode ser utilizado na conversão em energia elétrica, sistema de aquecimento ou mesmo sistema de refrigeração (HENRIQUES, 2004).

Em seguida, os gases são neutralizados com a injeção de hidróxido de cálcio, altamente eficiente na neutralização e captura de SO_x e HCl . Os gases já resfriados e neutralizados passam então por um sistema de filtros (filtros-manga) que retiram o material particulado (fuligem, sais e hidróxido de cálcio) de dimensão de até $0,3\mu\text{m}$. Em algumas conformações utilizam-se outros sistemas, como precipitadores eletrostáticos, lavadores venturi, ciclones, etc. Finalmente, os gases passam por um leito adsorvente, à base de carvão ativado (leito fixo ou fluidizado), de alta área superficial que possui tripla ação:

- Retenção de óxidos nitrosos: evitando-se picos de geração de NO_x , eventualmente formados na câmara secundária, minimizando as emissões;
- Retenção de organoclorados: ação preventiva quanto à emissão de dioxinas por algum problema na câmara secundária;
- Retenção de metais voláteis: o material atua como uma “peneira molecular” retendo metais voláteis. Tanto por injeção, como através de um leito fixo, o material possui comprovadamente altíssima eficiência na retenção de metais.

Tanto os filtros mangas como os leitos de carvão funcionam tipicamente entre 150 e 200°C. A perda de calor ao longo do próprio tratamento de purificação de gases faz com que a temperatura na saída da chaminé seja inferior a 120°C, vindo a atender a legislação específica (decreto nº 8.468 de 08/09/1976 alterada pelo decreto nº 47.397 de 04/12/02) sobre dispersão de poluentes.

A figura 2.10 apresenta um dos principais tipos de lavadores de gás (OGAWA, 1984).

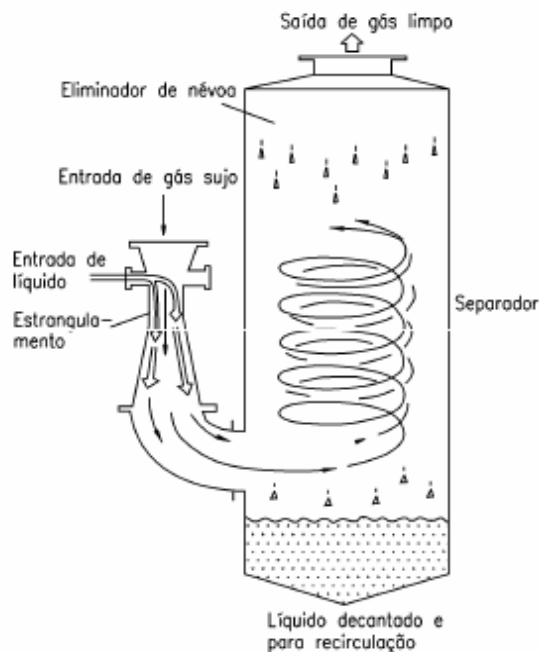


Figura 2.10: Lavador de Gás Ventury com separador ciclônico

FONTE: OGAWA, 1984

2.10.5 Outros Tipos de Equipamentos e processos para Tratamento de gases.

a) Lavadores de Gases:

Os Lavadores de Gases são equipados com sistema separador a úmido “Auto Induzido”, altamente eficaz e econômico e ainda praticamente isento de manutenção.

O tanque de água (1) da figura 2.11 contém solução de lavagem (4). Os gases e partículas poluentes entram pela câmara de lavagem (6), através de uma placa com formato de um dente de serra (2). A circulação do líquido (3) é provocada pela corrente de ar produzida por exaustor. Devido a alta velocidade do ar na superfície de lavagem, a placa dente de serra contribui para a produção de uma turbulência muito forte nos gases, provocando o arraste da solução de lavagem (autoinduzido). A solução de lavagem que corre sobre a placa de turbulência, forma na parte curvada uma espécie de “cilindro rotativo de ar/líquido”, com sentido alternado. E a outra parte do líquido de lavagem cai para traz.

Após diversas mudanças de sentido, o restante do líquido é novamente separado na corrente de ar através das placas de rebote (5) e volta ao meio de lavagem, através dos canais devolutórios com aberturas embaixo, entrando novamente no ciclo de circulação da superfície do tanque de solução.

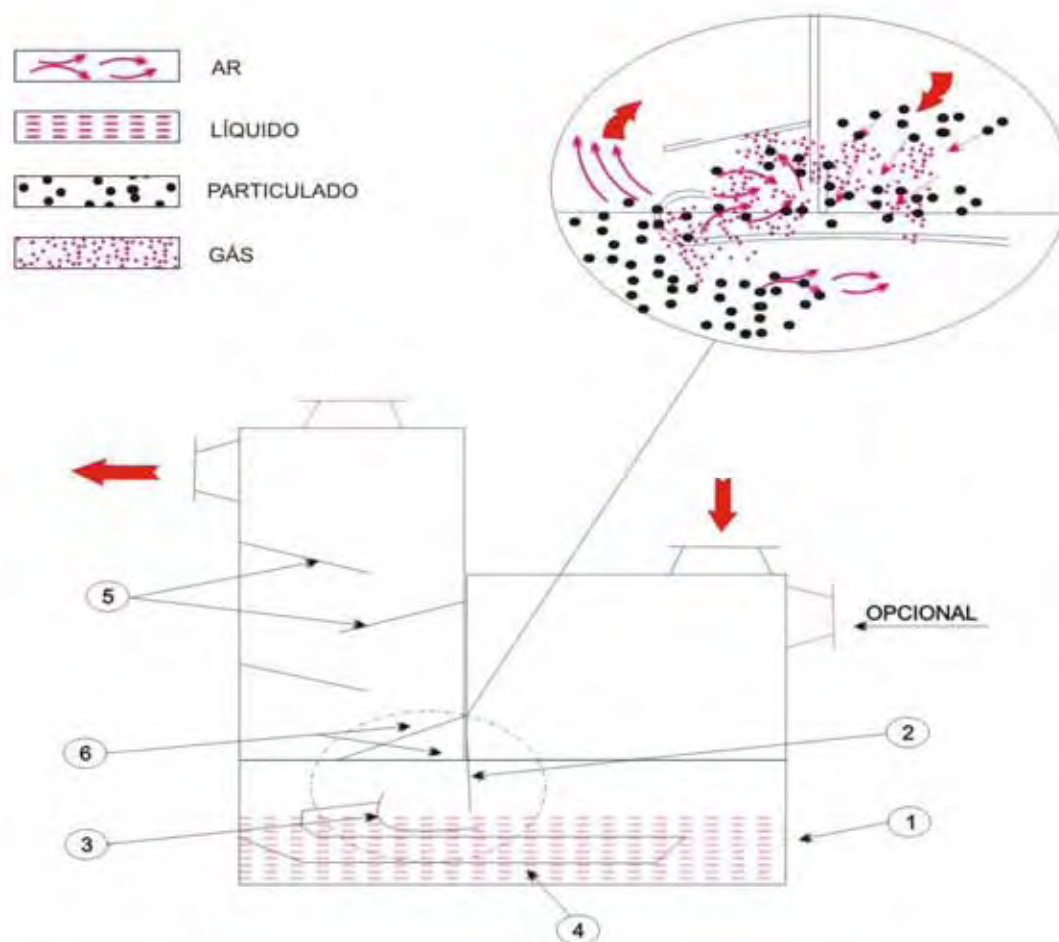


Figura 2.11: Lavadores de Gases do Tipo “Autoinduzido – Elai”

FONTE: ECO-TECH-SYSTEM, 2006

O ar tratado isento de partículas e gases poluentes é soprado para fora através do Ventilador / Exaustor Centrífugo e chaminé.

Nos casos onde houver a separação de material particulado (MP) sem a presença de névoas ácidas ou alcalinas, apenas a adição de água industrial no tanque será suficiente.

Nos casos onde houver a presença de M.P. e névoas ácidas e/ou alcalinas, haverá a necessidade de preparação de uma solução que promova a neutralização destes gases. Nestes casos é de primordial importância o estudo de um agente químico específico para a finalidade proposta.

b) Ciclones

A eficiência do ciclone da Figura 2.12 é devido a ação da força centrífuga, que provoca a separação dos particulados. E ainda maior quando é criada pela entrada tangencial do gás e rotação do mesmo dentro do ciclone.

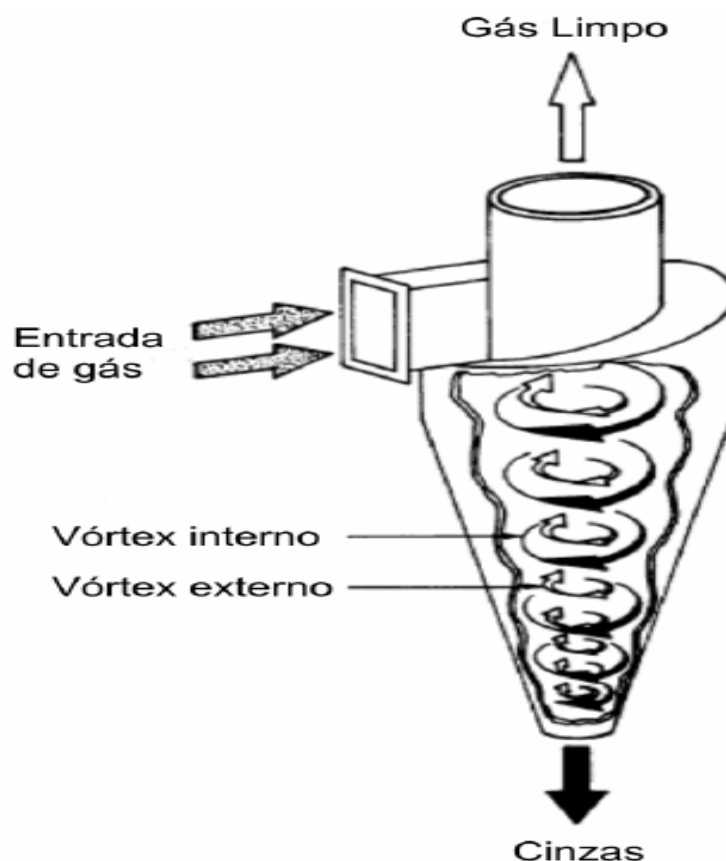


Figura 2.12: Ciclone com Entrada Tangencial e retorno do gás

FONTE: OGAWA, 1984

c) Precipitadores Eletrostáticos

O precipitador eletrostático é um dispositivo usado para remover partículas sólidas ou líquidas suspensas em um meio gasoso usando forças eletrostáticas.

Precipitadores eletrostáticos são usados na indústria para diminuir a concentração de partículas sólidas lançadas à atmosfera.

O princípio de funcionamento destes equipamentos (OZAWA, 2003) consiste em carregar eletricamente as partículas contidas na corrente gasosa contaminada, e, a seguir, submetê-las a ação de um campo elétrico, conforme a Figura 2.13.

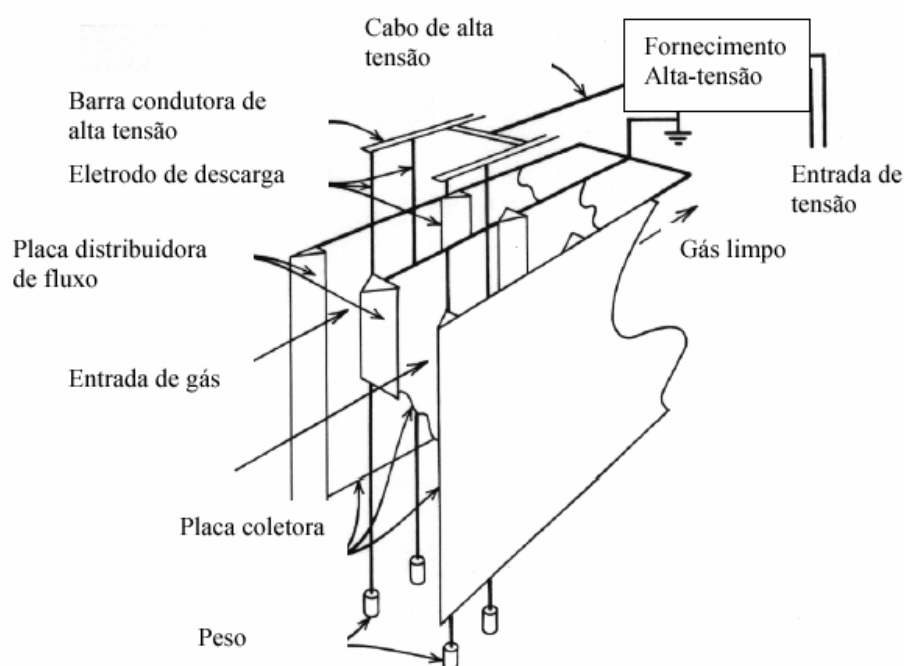


Figura 2.13: Vista simplificada de um Precipitador Eletrostático

FONTE: OZAWA, 2003

Na região de entrada dos precipitadores, as partículas são carregadas eletricamente por íons gerados nas regiões de descarga elétrica (onde ocorrem campos elétricos de alta intensidade). As partículas assim carregadas são atraídas pelas placas

coletoras através de forças elétricas onde se depositam, criando uma camada. A espessura dessa camada tende a aumentar continuamente, diminuindo a eficiência do precipitador.

d) Filtro de Mangas

Trata-se de uma tecnologia especialmente efetiva para reter partículas sólidas presentes no fluxo de gases (em geral, para partículas cujo tamanho supere 1 micron a retenção é da ordem de 99%) (SILVA, 1998).

O princípio de funcionamento destes equipamentos consiste, em fazer passar os gases através de um filtro (normalmente de tecido natural ou fibra de vidro), capaz de reter o pó e as partículas e deixar passar os gases.

A captação destas partículas produz-se graças a ação combinada de diversos mecanismos: colisão direta, difusão, deposição gravitacional e atração eletrostática.

Um aspecto crítico é o material construtivo destes filtros. É fundamental que resistam e se comportem adequadamente à temperaturas superiores a 200°C, já que deve-se evitar temperaturas de trabalho excessivamente baixas que poderiam promover condensação e conseqüentemente corrosão. Neste sentido, a fibra de vidro e as fibras de poliamidas são capazes de trabalhar em boas condições a altas temperaturas (250-280°C), e os filtros de tecidos naturais são mais eficazes na retenção de partículas sólidas.

A Figura 2.14 ilustra esquematicamente o filtro de mangas.

2.11 Geração de Energia

2.11.1 Matriz Energética Nacional

As fontes minerais de matéria-prima e energia fósseis não são infinitas e nem renováveis assim como o seu uso causa problemas ambientais.

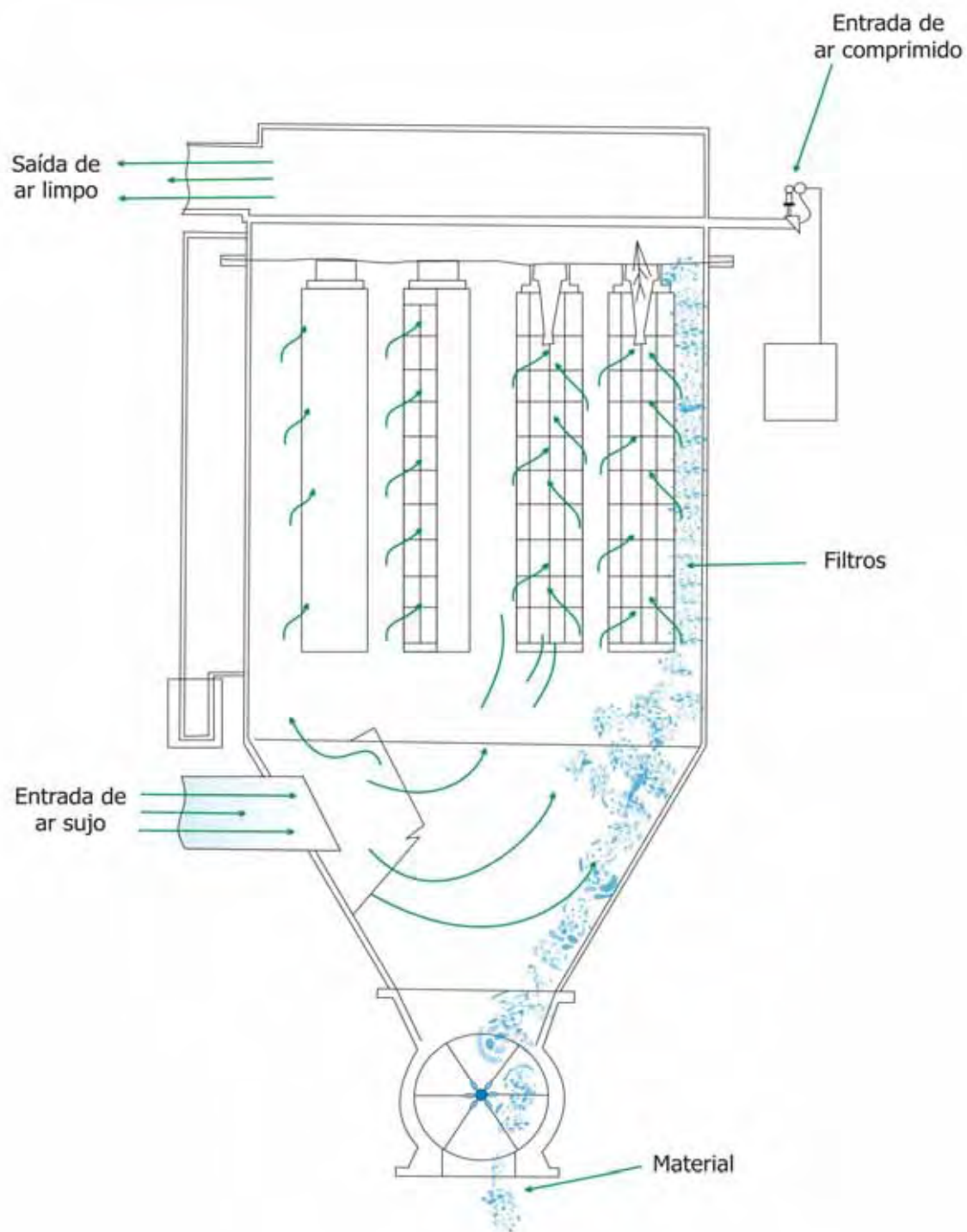


Figura 2.14: Filtro de Mangas

FONTE: SILVA, 1998

Estes são motivos que levam à procura de alternativas. Uma das formas é, - entre outras - o uso da biomassa. Além disso, as energias renováveis contribuem para melhorar a qualidade do ar e a capacidade de inovação e criar novas empresas, emprego e desenvolvimento rural, no contexto do reforço dos três pilares do desenvolvimento sustentável.

As energias renováveis podem ajudar na luta contra as alterações climáticas. Além disso, contribuí para a produção de energia. Os seus efeitos na proteção da qualidade do ar e na criação de novos postos de trabalhos e empresas também estão a seu favor.

O investimento em energias renováveis não é, de forma geral, a maneira mais barata para reduzir as emissões de gases com efeito de estufa. Fica menos caro utilizar a energia de modo mais eficiente. No entanto, numa perspectiva de longo prazo, o investimento nas energias renováveis é fundamental. A experiência em setores como o da energia eólica mostra que um investimento continuado conduz a inovações que viabilizam a utilização das energias renováveis. Em contrapartida, após a colheita dos primeiros frutos, o custo de medidas adicionais em matéria de eficiência energética aumenta.

As fontes de energia renováveis necessitam das fontes de energia convencionais enquanto complemento. A energia eólica e a energia solar são intermitentes e imprevisíveis. Os fatores climáticos podem originar grandes variações de ano para ano na disponibilidade de biomassa e energia hídrica. A política energética deve assentar num leque de diferentes fontes de energia, convindo não esquecer as lições do passado que apontam para a necessidade de diversificação.

O desenvolvimento de um sistema energético mais diversificado e seguro, incluindo uma quota superior de energias renováveis, continua, atualmente, a constituir uma opção política com custos mais elevados. É verdade que a energia hídrica e as utilizações tradicionais da lenha são competitivas em relação às formas convencionais de energia, e que a energia eólica se aproxima do limiar de competitividade em determinadas instalações em terra, em que o vento tem velocidade média adequada (HAUSER, 2006).

No Brasil existem metas de acordo com o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (PROINFA). O programa prevê a instalação de 3.300 MW de capacidade, que serão incorporados ao Sistema Elétrico Integrado Nacional (SIN). Desse montante, 1.100 MW serão de fontes eólicas, 1.100 MW de pequenas centrais hidrelétricas (PCHs) e 1.100 MW de projetos de biomassa. A energia produzida pelas unidades geradoras selecionadas será adquirida pela Centrais Elétricas Brasileiras S.A. (Eletrobrás). Os contratos dos geradores com a Eletrobrás terão duração de 20 anos, contados a partir da entrada em operação.

2.11.2 Energia da Biomassa

No Brasil a biomassa participa de forma significativa na matriz energética. As emissões de CO₂ provenientes da biomassa não são contabilizadas como formadoras do efeito estufa já que em sua produção este gás é extraído da atmosfera. Contudo, a contabilidade dos gases emitidos pela biomassa é apurada já que outros gases, como o metano, são incluídos no inventário. Por outro lado, a compreensão dos mecanismos de reciclagem do carbono na atmosfera através da biomassa é importante para a compreensão do fenômeno do aquecimento global.

A importância da biomassa na matriz energética brasileira torna necessário um tratamento mais cuidadoso das emissões dela provenientes, já que a abordagem padrão definida pelo IPCC (International Panel on Climate Change) está mais dirigida a perfis energéticos onde a biomassa é menos importante.

Mais recentemente a produção de energia elétrica a partir da biomassa tem sido defendida como uma importante opção para os países em desenvolvimento e mesmo para os países europeus. A questão ambiental, com a necessidade de minimização das emissões globais de CO₂, é o ponto comum de ambas propostas. No caso dos países em desenvolvimento, a crise econômico-financeira do setor elétrico e a necessidade de empréstimos internacionais para viabilizar a construção de novas obras, são colocadas como razões particulares. Para o caso europeu, a particularidade é

destacada pela dependência de alguns países quanto ao abastecimento de fontes energéticas fósseis (HENRIQUES, 2004).

A crescente preocupação da sociedade com questões ambientais deve influir as decisões dos dirigentes quanto às possibilidades de utilização das fontes energéticas. Dentro deste aspecto, os combustíveis fósseis são os mais criticados, devido à produção de uma quantidade de CO_2 que o planeta não tem condições de assimilar em longo prazo, causando o chamado efeito estufa, e também pela possibilidade de emissão de óxidos de enxofre. A energia nuclear também tem se mostrada insegura nos níveis de tecnologia existente nas usinas, pois os acidentes com vazamentos de material radioativo vêm acontecendo periodicamente, além de outros problemas com a operação e a disposição do chamado lixo atômico.

Nesse contexto, as fontes de energias não poluentes e renováveis são as que melhor atendem as necessidades sociais. Ao se utilizar à queima de um combustível fóssil, inevitavelmente produzem-se gases com grande concentração de CO_2 e com presenças de SO_x . Esses podem ser removidos dos gases, mas tal processo requer certo custo e eficiência.

Futuramente, todas essas formas alternativas de energia deverão conviver em parceria, pois a sociedade não deverá desprezar qualquer forma de geração de energia que seja renovável e não poluente (HENRIQUES, 2004).

CAPÍTULO 3 – MATERIAIS E METODOLOGIA

3.1 Localização

Para elaboração deste trabalho foram utilizadas as informações constantes em Silva (1998), Tchobanoglous (1996), e posteriormente foi realizada uma avaliação técnica do tratamento térmico de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) com recuperação de energia, através da utilização de incineradores e geradores de vapor.

A cidade de Bauru fica localizada na região central do Estado de São Paulo, e sua economia é bastante diversificada. Bauru é beneficiada diretamente pela Hidrovia Tietê-Paraná, que permite a estruturação de transportes a partir de Pederneras, que é hoje o principal terminal hidroviário de cargas do Estado.

O município possui ligação com a capital do Estado, por meio da rodovia Marechal Rondon, entre outras rodovias importantes que o cercam. Nessa região do estado, Bauru é a maior geradora de RSU e o principal centro econômico além de ser o município mais populoso.

Para escolher as cidades que comporiam um possível consórcio da região de Bauru, foi considerada a distribuição das seções regionais da CETESB, acrescidas de mais três municípios que estão localizados dentro de uma área de abrangência considerada. Assim, no presente estudo, a abrangência encontra-se indicada no mapa da figura 3.1.

Para as cidades da região considerada, isso se faz necessário, pois as mesmas encontram dificuldades no que diz a respeito à destinação final dos resíduos. Contudo, o consórcio intermunicipal será, sem dúvida, um instrumento que poderá viabilizar determinadas ações conjuntas que irão minimizar ou solucionar os problemas enfrentados pelos municípios na questão dos resíduos urbanos.

Outro fator que favorece a formação de um consórcio nesta região é a presença de várias entidades de ensino técnico, de graduação e de pós-graduação, pois poderiam ser firmadas parcerias que beneficiariam a constituição e a manutenção do consórcio. Muitas dessas entidades visam dar uma formação diferenciada aos seus alunos, buscando parcerias para que eles possam colocar em prática os conhecimentos teóricos absorvidos.

3.2 *Software COMBUST*

As análises da combustão são desenvolvidas com o intuito de minimizar o consumo e as perdas de água, vapor e combustível. Como consequência do processo, os custos da produção e os impactos ambientais (emissão de gases de combustão e de efluentes líquidos) são reduzidos. Além disso, um balanço de massa estima a quantidade de insumos e ar necessário para combustão, permitindo também a determinação de algumas propriedades importantes, tais como: composição e poder calorífico.

O auxílio de uma ferramenta para simular e calcular estas composições desempenha um papel fundamental para viabilizar um projeto em tempo reduzido e minimizando custos na fase de desenvolvimento e implantação.

Com a utilização do software, elaborou-se um estudo para caracterizar e simular, obtendo os resultados de combustão completa.

O software Combust, de domínio público (BARRERAS, 1996), vem sendo utilizado desde o final da década 90 e, portanto é de fácil aquisição. Desenvolvido para os cálculos relativos á combustão de sólidos, líquidos, gases ou de suas misturas, permite calcular:

- O excesso de ar de combustão a partir do teor de O_2 (ou CO_2) nos gases de combustão.
- Teor máximo de CO_2 nos gases de combustão.
- A massa de ar estequiométrico.
- A temperatura dos gases de combustão em função do excesso de ar de combustão.

- A composição mássica e volumétrica dos gases de combustão, bem como entalpia, calor específico, densidade e massa molecular. Tanto em base seca como em base úmida.
- A vazão mássica, ou volumétrica, dos gases de combustão, secos ou úmidos.
- O poder calorífico, densidade, massa molecular, calor específico e índice de Wobbe de hidrocarbonetos e suas misturas. Tanto para teor volumétrico como para mássico e tanto para base úmida como para base seca.

Na figura 3.2 tem-se a tela inicial do software, que mostra além dos dados de entrada a opção de tipo de combustível, que neste caso será sólido. Caso não haja um determinado componente na constituição do combustível deverá ser inserido zero nas lacunas da fração mássica.

Combustión de un mezcla de gases, estequiométrica o con exceso de aire

Combustión estequiométrica o con exceso de aire, de un combustible sólido o líquido

Fracción Mássica de

Carbono	
Hidrógeno	
Azufre	
Oxígeno	
Nitrógeno	
Agua	
Cenizas	

Tipo de combustible:

☐ Combustible líquido

☒ Carbón

Indique el coeficiente de exceso de aire, concebido como la relación entre la cantidad de aire real y la estequiométrica.

Ejecutar cálculos

Figura 3.2: Tela Inicial do software Combust

Destacam-se como vantagens na utilização do software Combust, a simplicidade no manuseio, a agilidade na obtenção dos resultados, dados de entrada necessários são prontamente identificáveis, obtenção em segundos de todos os dados estequiométricos da reação.

3.3 RSU do Município de Bauru

Os resíduos urbanos de Bauru são coletados em caminhões apropriados e levados diretamente para o aterro onde são depositados em células, não havendo nenhuma forma de tratamento ou separação (segregação) do material. Depois de depositados, os resíduos são espalhados e compactados por um trator de esteiras, com capacidade para 30 toneladas por hora. A base do aterro foi razoavelmente compactada, e existe um sistema de drenagem de chorume e lagoa de evaporação e decantação para o mesmo.

A profundidade total do aterro é de 18 metros, sendo que cada célula é composta por 4 camadas de 4,5 metros de espessura cada. A separação das camadas é feita com aproximadamente 0,70 m de terra compactada. Com essa metodologia a densidade média final dos resíduos depositados é da ordem de 600 kg/m^3 (ANDRADE, 2001).

Com a atual tendência da segregação de materiais que tem algum valor de mercado, encontrados no RSU, surge a questão da variação no Poder Calorífico em função do tipo e qualidade do material segregado.

Este procedimento pode influenciar o rendimento de uma usina de recuperação de energia, por exemplo, a redução na quantidade de plásticos presentes no RSU pode elevar o custo da produção de energia, pois diminui o seu poder calorífico.

A tabela 3.1 mostra a composição típica dos resíduos no aterro sanitário de Bauru.

A determinação da quantidade e composição de RSU produzido em uma cidade, para fins de geração de energia, não é tarefa simples, dependendo de uma série de fatores, tais como: o número de habitantes, a qualidade de vida da população, o tipo de coleta e até das condições atmosféricas locais.

Tabela 3.1: Composição Típica dos Resíduos Sólidos Urbanos do Aterro Sanitário de Bauru

Componente	Massa Úmida (%)
Resíduos de Comida	55
Papel e Papelão	21
Têxtil	5
Madeira	1,1
Plástico	8,9
Outros	9,0

FONTES: ANDRADE, 2001

Para determinar o poder calorífico de cada componente, considerando a porcentagem de umidade, utilizou-se a tabela 3.2

Tabela 3.2: Porcentagem em massa

Componente	%água	Carbono		Hidrogênio		Oxigênio		Nitrogênio		Enxofre		Cinzas	
		Seca	Úmida	Seca	Úmida	Seca	Úmida	Seca	Úmida	Seca	Úmida	Seca	Úmida
Res.comida	70,0	48,0	14,4	6,4	1,9	37,6	11,3	2,6	0,8	0,4	0,1	5,0	1,5
Papel/papelão	6,0	44,0	41,4	5,9	5,5	44,6	41,9	0,3	0,3	0,2	0,2	5,0	4,7
Plástico	2,0	60,0	58,8	7,2	7,1	22,8	22,3	0,0	0,0	0,0	0,0	10,0	9,8
Têxteis/couro	10,0	55,0	49,5	6,6	5,9	31,2	28,1	4,6	4,1	0,2	0,1	2,5	2,2
Borracha	2,0	78,0	76,4	10	9,8	0,0	0,0	2,0	2,0	0,0	0,0	10,0	9,8
Madeira	20,0	47,8	38,2	6	4,8	38,0	30,4	3,4	2,7	0,3	0,2	4,5	3,6

FONTES: POLLETO, 2008

3.4 RSU dos municípios na Região Administrativa de Bauru

O Estado de São Paulo possui 645 municípios que estão agrupados pela CETESB em 15 regiões Administrativas, assim agrupados pela CETESB. Os municípios que fazem parte de um possível consórcio neste estudo estão inseridos, principalmente na RA de Bauru. A tabela 3.3 apresenta o total de lixo coletado

diariamente em cada município, a distância até Bauru, e o consumo aproximado de combustível que pode ser gasto com o transporte por dia. Em alguns casos, como as quantidades de RSU geradas são pequenas, adotou-se a estratégia de armazenamento em estações para posterior transporte à Bauru, cidade onde estaria localizada a planta incineradora.

Tabela 3.3: Características das cidades na RA de Bauru

Cidades	Distância até Bauru (km)	Massa de RSU coletado (kg/dia)	Consumo de óleo diesel para ida e volta à Bauru (litros/viagem)	Capacidade do Caminhão (kg)	Número de viagens	Frequência
Agudos	32,0	12.900	12,8	13.000	1	por dia
Arealva	50,6	2.200	20,2	7.800	1	3 em 3 dias
Areiópolis	91,7	3.500	36,6	7.800	1	2 em 2 dias
Avaí	53,2	1.300	21,3	13.000	1	na semana
Balbinos	80,5	400	32,2	7.800	1	na semana
Bariri	77,2	11.400	30,9	13.000	1	por dia
Barra Bonita	86,9	15.100	34,8	13.000	2	por dia
Bauru	0,0	211.700	0,0	-	-	-
Bocaina	89,1	4.100	35,6	7.800	1	por dia
Boracéia	62,0	1.400	24,8	7.800	1	3 em 3 dias
Borebi	43,5	700	17,4	7.800	1	na semana
Botucatu	110,6	58.500	44,2	13.000	5	por dia
Cabrália Paulista	40,3	1.800	16,1	7.800	1	3 em 3 dias
Cafelândia	94,6	5.300	37,8	7.800	1	por dia
Dois Corregos	102,8	9.000	41,1	13.000	1	por dia
Duartina	47,9	4.500	19,1	13.000	1	2 em 2 dias
Getulina	139,8	3.100	55,9	7.800	1	2 em 2 dias
Guaíçara	134,6	4.100	53,9	13.000	1	2 em 2 dias
Guaimbê	150,3	1.700	60,1	13.000	1	na semana
Guarantã	92,6	2.100	37,1	7.800	1	3 em 3 dias
Iacanga	55,0	3.000	22,0	7.800	1	2 em 2 dias
Igarapu do Tiete	88,5	9.400	35,4	13.000	1	por dia
Itaju	64,5	700	25,8	7.800	1	na semana
Itapui	59,1	4.200	23,7	13.000	1	3 em 3 dias
Jaú	64,4	60.200	25,8	13.000	5	por dia
Lençóis Paulista	56,4	24.000	22,5	13.000	2	por dia
Lins	121,6	27.800	48,7	13.000	3	por dia
Lucianópolis	61,7	600	24,7	7.800	1	na semana
Macatuba	65,0	6.700	26,0	7.800	1	por dia
Mineiros do Tiete	83,6	5.000	33,4	7.800	1	por dia
Paulistânia	50,1	400	20,0	7.800	1	na semana
Pederneiras	43,0	14.900	17,2	13.000	2	por dia
Pirajui	73,0	6.800	29,2	7.800	1	por dia
Piratininga	15,0	3.800	6,0	7.800	1	por dia
Pongai	96,3	1.200	38,4	7.800	1	3 em 3 dias
Presidente Alves	69,4	1.300	27,7	7.800	1	3 em 3 dias
Promissão	139,2	11.000	55,7	13.000	1	por dia
Reginópolis	72,2	1.500	28,9	7.800	1	3 em 3 dias
Sabino	156,2	1.700	62,5	7.800	1	3 em 3 dias
São Manuel	84,0	14.800	33,6	13.000	2	por dia
Ubirajara	82,9	1.200	33,2	7.800	1	na semana
Uru	91,2	400	36,5	7.800	1	na semana
T O T A L (kg/dia)		555.400				

Com base na Revisão Bibliográfica, tópico 2.8, sugere-se a utilização de caminhões com capacidade de 7.800 kg e 13.000 kg. Para simplificar os cálculos, adotou-se que estas capacidades serão usadas tanto na estimativa do potencial energético com incineração do RSU total, quanto na que considera a separação de materiais para reciclagem.

Estima-se que o transporte de todo o resíduo coletado nos municípios seja realizado em caminhões com dois eixos, consumindo uma média de 5 quilômetros por litro de óleo diesel, e para as distâncias calculadas entre as cidades, considerou-se um ponto central de cada município até o centro de Bauru, estimando-se distâncias médias entre as cidades.

Em algumas cidades percebe-se que o total de RSU coletado é inferior a capacidade dos caminhões, não necessitando fazer o transporte dos resíduos diariamente. Entretanto em outros municípios existe a necessidade de realizar um número maior de viagens, devido a quantidade de RSU coletada ser superior a capacidade dos caminhões.

Adotou-se, então, a hipótese que nas cidades de pequeno consumo, os resíduos sejam acumulados em estação de transbordo e coletados conforme logística definida na tabela 3.3. Nela determina-se a frequência e o número de viagens que o caminhão irá realizar em função do RSU coletado.

Vale lembrar que na Figura 3.1, não estão inseridas as cidades de Areiópolis, São Manuel e Botucatu, mas devido a sua proximidade e uma quantidade de massa de resíduos nada desprezível em comparação as outras cidades que compõem a região administrativa, foram também incluídas no estudo.

CAPÍTULO 4 – RESULTADOS E ANÁLISES

A queima controlada dos RSU quando realizada em instalações com dispositivos adequados de controle da poluição do ar, permite uma solução definitiva ao problema, com baixo impacto ambiental. Estimou-se a quantidade de energia gerada com a combustão total dos RSU sem considerar a segregação, isto é, deixando 100% dos RSU para incineração.

4.1 Geração de Energia

Para determinar o PCI de cada componente encontrado no resíduo urbano, montou-se a tabela 4.1 com auxílio do software (Anexo A) para cálculos de combustão e com base nas tabelas 3.1 e 3.2.

Tabela 4.1: Contribuição proporcional de cada componente do RSU

Componentes	PCI (kcal/kg)
Resíduos de Comida	736
Papel e Papelão	758
Têxtil e Couro	238
Madeira	39
Plástico	523
TOTAL PCI (kcal/kg de RSU in natura)	2.294

Observa-se que os valores apresentados se referem ao Poder Calorífico já considerando a composição percentual dos componentes encontrados nos resíduos.

A produção de vapor no sistema forno-caldeira da planta incineradora de RSU pode apresentar variações significativas em função tanto do tipo e fluxo de resíduos, como de aspectos operacionais do sistema, afetando a geração e consequentemente o fornecimento de energia.

Procura-se contornar este problema utilizando-se de um combustível auxiliar, principalmente na partida do sistema. No presente estudo, por questões de simplificação do modelo adotado, não se considerou esta contribuição energética.

A Figura 4.1 ilustra teoricamente o desempenho global no sistema (SILVA, 1998). O rendimento térmico do processo de combustão de RSU com recuperação de energia poderá variar entre 20 e 40%, dependendo de vários fatores relacionados ao combustível, ao tipo de equipamento utilizado e também da rotina operacional. Ou seja, as perdas são consideráveis, devidas a vários fatores, como a qualidade de combustão e excesso de ar, entre outros. No caso da ilustração da figura 4.1, estimaram-se perdas da ordem de 76%, para uma eficiência energética ou rendimento (η) em torno de 24% para um incinerador do tipo dupla câmara.

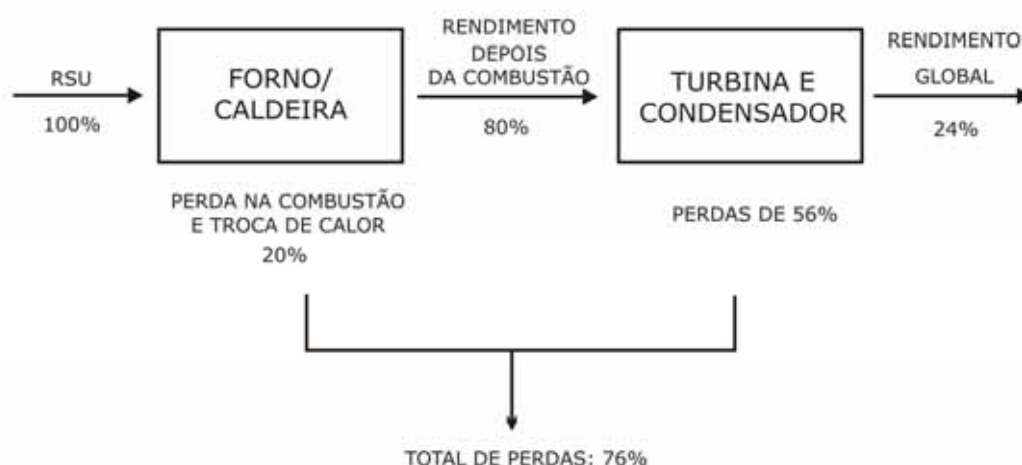


Figura 4.1: Fluxograma de perdas em sistemas com recuperação de energia.

FONTE: SILVA, 1998

4.2 Estudo da Viabilidade da Geração de Energia Elétrica para Bauru e Região

Para a estimativa da quantidade de energia diária que poderia ser gerado nas cidades de Bauru e região pelo aproveitamento energético dos RSU, utilizou-se a equação (4.1)

$$E_G = PCI \cdot \eta \cdot m_{RSU} \quad (4.1)$$

Para fins de análise energética, ao se estimar a quantidade de energia diária que poderia ser gerada na região, tem-se que considerar a energia gasta pelo transporte dos RSU até a cidade de Bauru (local escolhido para instalação da planta incineradora). Para isso, é estimado o consumo médio do transporte em litros de óleo diesel para a coleta dos resíduos nas cidades que compõem o consórcio e da distância, de acordo com a tabela 3.3. Com base nos dados encontrados na literatura, tem-se que o PCI do óleo diesel é 10.139 kcal/kg e a sua densidade é de 0,85 kg/l.

Portanto, a energia do transporte a ser utilizada, poderá ser determinada pela equação 4.2.

$$E_T = PCI_{Diesel} \cdot l_{viagem / dia} \cdot \rho \cdot q_V \quad (4.2)$$

Através do Inventário Estadual de Resíduos Sólidos publicado pela CETESB no ano de 2007, Anexo B, foram encontrados dados referentes ao total coletado de RSU nas cidades da região administrativa de Bauru. Com base na tabela 4.1 e no rendimento global do sistema adotado, gerou-se a tabela 4.2 (Anexo C).

Para a determinação do total teórico de energia gerada a partir do RSU utilizam-se as equações 4.1 e 4.2 resultando na equação 4.3

$$E_L = E_G - E_T \quad (4.3)$$

Com a atual tendência da segregação de alguns materiais que compõem o RSU, o poder calorífico do mesmo sofre redução na medida em que plástico e papel/papelão são retirados da massa para fins de reciclagem. Como consequência tem-se um rendimento energético menor da planta de incineração com recuperação de energia.

A determinação do total teórico do potencial energético do RSU, considerando a separação, se dá também através da equação 4.1, porém o PCI neste caso é diferente

como demonstrado na Tabela 4.3. Analogamente a equação 4.3, tem-se a energia líquida do potencial energético gerado considerando a segregação.

Tabela 4.2: Potencial Energético considerando o RSU total

Cidades	Energia Consumida no Transporte (kWh/dia)	Potencial Energético do RSU (kWh/dia)	Potencial Energético Líquido (kWh/dia)
Agudos (1)	128,5	8.259,9	8.131,4
Arealva (2)	67,6	1.408,7	1.341,0
Areiópolis (3)	183,4	2.241,1	2.057,6
Avaí (4)	30,5	832,4	801,9
Balbinos (5)	46,1	256,1	210,0
Bariri (6)	309,5	7.299,4	6.989,9
Barra Bonita (7)	697,2	9.668,5	8.971,4
Bauru (8)	0,0	135.551,8	135.551,8
Bocaina (9)	357,2	2.625,2	2.268,0
Boracéia (10)	82,8	896,4	813,6
Borebi (11)	24,9	448,2	423,3
Botucatu (12)	2.217,1	37.457,6	35.240,6
Cabrália Paulista (13)	53,9	1.152,5	1.098,7
Cafelândia (14)	379,3	3.393,6	3.014,3
Dois Corregos (15)	411,9	5.762,7	5.350,8
Duartina (16)	95,9	2.881,4	2.785,4
Getulina (17)	280,1	1.984,9	1.704,8
Guaíçara (18)	270,3	2.625,2	2.354,9
Guaimbê (19)	86,1	1.088,5	1.002,4
Guarantã (20)	123,8	1.344,6	1.220,8
Iacanga (21)	110,4	1.920,9	1.810,6
Igarapu do Tiete (22)	354,6	6.018,8	5.664,2
Itaju (23)	37,0	448,2	411,2
Itapui (24)	79,0	2.689,3	2.610,2
Jaú (25)	1.291,0	38.546,1	37.255,2
Lençóis Paulista (26)	451,8	15.367,2	14.915,4
Lins (27)	1.463,1	17.800,4	16.337,2
Lucianópolis (28)	35,4	384,2	348,8
Macatuba (29)	260,6	4.290,0	4.029,4
Mineiros do Tiete (30)	335,2	3.201,5	2.866,3
Paulistânia (31)	28,7	256,1	227,4
Pederneiras (32)	344,8	9.540,5	9.195,7
Pirajui (33)	292,5	4.354,0	4.061,6
Piratininga (34)	60,3	2.433,1	2.372,8
Pongai (35)	128,3	768,4	640,1
Presidente Alves (36)	92,7	832,4	739,7
Promissão (37)	558,1	7.043,3	6.485,2
Reginópolis (38)	96,6	960,5	863,9
Sabino (39)	208,7	1.088,5	879,8
São Manuel (40)	673,5	9.476,5	8.802,9
Ubirajara (41)	47,5	768,4	720,9
Uru (42)	52,2	256,1	203,9
TOTAL (kWh/dia)	12.848,0	355.623,3	342.775,4

Com base nas informações da tabela 2.6, onde se encontra o percentual de segregação média do lixo urbano no Brasil, e do software Combust (POLETTTO, 2008) gerou a tabela 4.3 que apresenta a contribuição de cada componente médio de RSU, considerando a segregação.

Tabela 4.3: Contribuição proporcional de cada componente do RSU, considerando a segregação.

Componentes	PCI (kcal/kg)
Resíduos de Comida	736
Papel e Papelão	46
Têxtil e Couro	238
Madeira	39
Plástico	416
TOTAL PCI (kcal/kg de RSU)	1.475

FONTE: POLETTTO, 2008

Pela tabela 4.3, percebe-se que a diminuição dos componentes com maior poder calorífico reduz substancialmente o poder calorífico total do RSU, implicando em menor quantidade de energia que pode ser recuperada.

Analogamente à tabela 4.2, gerou-se a tabela 4.4 que apresenta o total teórico de energia gerada a partir do RSU em cada cidade da região administrativa de Bauru considerando a separação de materiais recicláveis e a mesma frequência de viagens que cada município fará para transportar seu RSU até a planta incineradora.

4.3 Disponibilidade de Energia Elétrica produzida pela combustão dos RSU

Por meio dos dados fornecidos nas tabelas 4.2 e 4.4, onde se apresentam as quantidades de energia geradas pela combustão dos RSU nas cidades da região administrativa de Bauru, pode-se analisar os resultados obtidos e verificou-se a disponibilidade do potencial de energia proporcionada.

Tabela 4.4: Potencial Energético do RSU, Considerando a Segregação.

Cidades	Potencial Energético do RSU Segregado (kWh/dia)	Potencial Energético Líquido Segregado (kWh/dia)
Agudos (1)	5.311,0	5.182,5
Arealva (2)	905,7	838,1
Areiópolis (3)	1.441,0	1.257,5
Avaí (4)	535,2	504,7
Balbinos (5)	164,7	118,6
Bariri (6)	4.693,4	4.383,9
Barra Bonita (7)	6.216,7	5.519,5
Bauru (8)	87.157,3	87.157,3
Bocaina (9)	1.688,0	1.330,8
Boracéia (10)	576,4	493,6
Borebi (11)	288,2	263,3
Botucatu (12)	24.084,6	21.867,5
Cabrália Paulista (13)	741,1	687,2
Cafelândia (14)	2.182,0	1.802,8
Dois Corregos (15)	3.705,3	3.293,4
Duartina (16)	1.852,7	1.756,7
Getulina (17)	1.276,3	996,1
Guaíçara (18)	1.688,0	1.417,7
Guaimbê (19)	699,9	613,8
Guarantã (20)	864,6	740,8
Iacanga (21)	1.235,1	1.124,8
Igaraçu do Tiete (22)	3.870,0	3.515,4
Itaju (23)	288,2	251,2
Itapui (24)	1.729,1	1.650,1
Jaú (25)	24.784,5	23.493,5
Lençóis Paulista (26)	9.880,8	9.429,0
Lins (27)	11.445,3	9.982,2
Lucianópolis (28)	247,0	211,7
Macatuba (29)	2.758,4	2.497,8
Mineiros do Tiete (30)	2.058,5	1.723,3
Paulistânia (31)	164,7	136,0
Pederneiras (32)	6.134,4	5.789,6
Pirajui (33)	2.799,6	2.507,1
Piratininga (34)	1.564,5	1.504,1
Pongai (35)	494,0	365,7
Presidente Alves (36)	535,2	442,5
Promissão (37)	4.528,7	3.970,6
Reginópolis (38)	617,6	521,0
Sabino (39)	699,9	491,1
São Manuel (40)	6.093,2	5.419,7
Ubirajara (41)	494,0	446,6
Uru (42)	164,7	112,5
TOTAL (kWh/dia)	228.659,3	215.811,3

A Figura 4.2 apresenta a variação da quantidade de RSU gerado em cada município estudado, bem como o potencial de geração de energia destes. Observa-se que existe uma relação direta entre a massa de RSU e o potencial de geração.

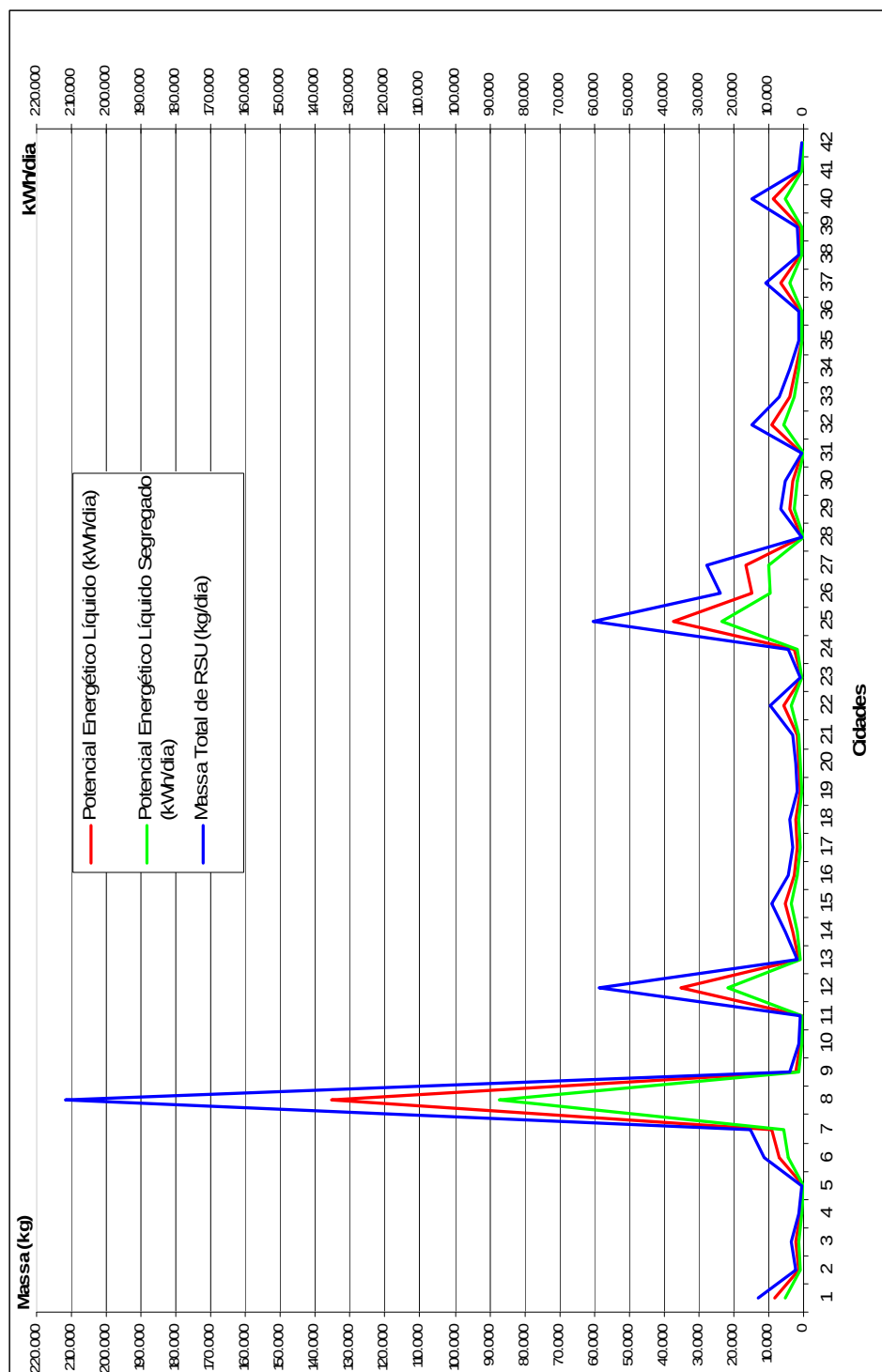


Figura 4.2: Potencial Energético Diário Líquido e Segregado do RSU Coletado na Região de Bauru

Já na Figura 4.2 nota-se que os maiores geradores de resíduos estão concentrados nas cidades de Bauru, Botucatu e Jaú, ou seja, 60% de todo o resíduo gerado na região estudada.

Na Figura 4.3 ilustra os percentuais de energia considerando a segregação e consumida no transporte, em relação ao potencial energético total dos RSU da região.

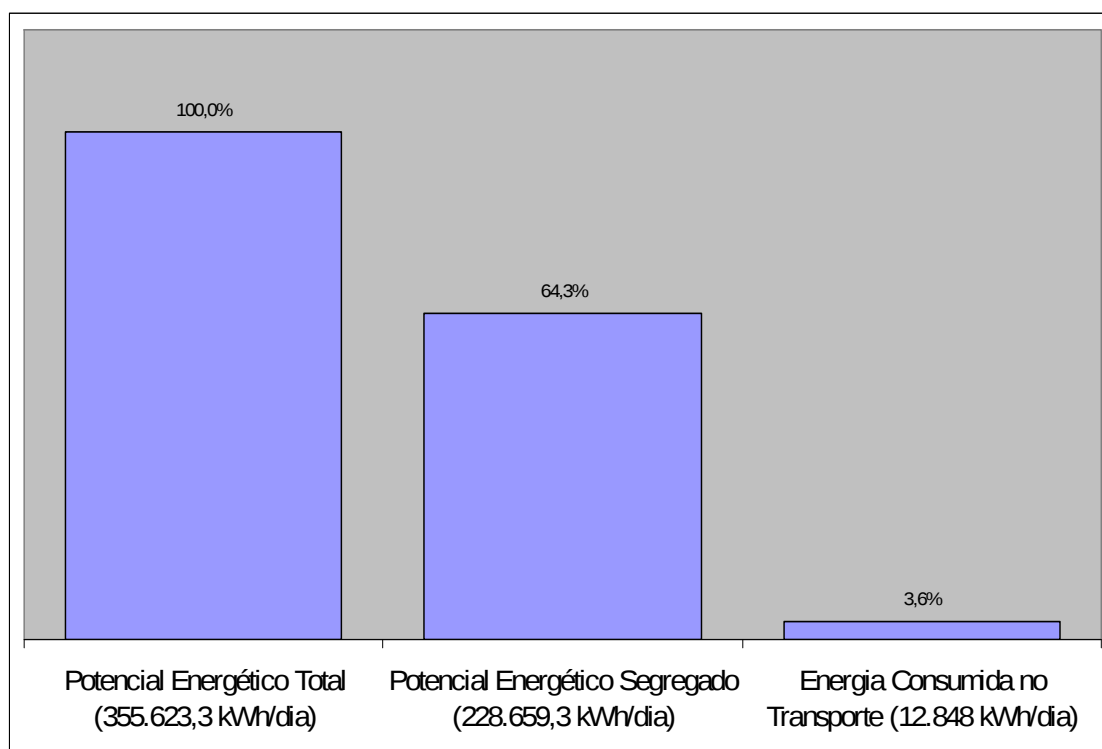


Figura 4.3: Potencial Energético da Região considerando a Segregação e Energia Consumida no Transporte em relação ao Potencial Energético Total

A questão da segregação de materiais bons combustíveis, como no presente caso, implica diretamente na quantidade de energia que se pode obter no processo, influenciando pela sua redução. Pode-se, então inferir que, neste caso, é mais vantajoso energeticamente a não separação de materiais para reciclagem.

Entretanto, deve-se salientar que outras facetas do problema devem ser consideradas, principalmente a questão econômica (custos da planta incineradora) e a social relacionada com a população que sobrevive da venda de recicláveis.

Em termos energéticos, observa-se que a retirada de papéis/papelão e plásticos do lixo que vai para a câmara de combustão do incinerador significa aproximadamente

114 MWh/dia à menos, quantidade de energia suficiente para alimentar 19.574 residências, considerando-se que o consumo médio de uma residência brasileira é de 175 kWh/mês (ANEEL, 2001).

Na Figura 4.4 tem-se em destaque o desempenho das cidades que produz uma quantidade acima de 10.000kg de resíduos por dia.

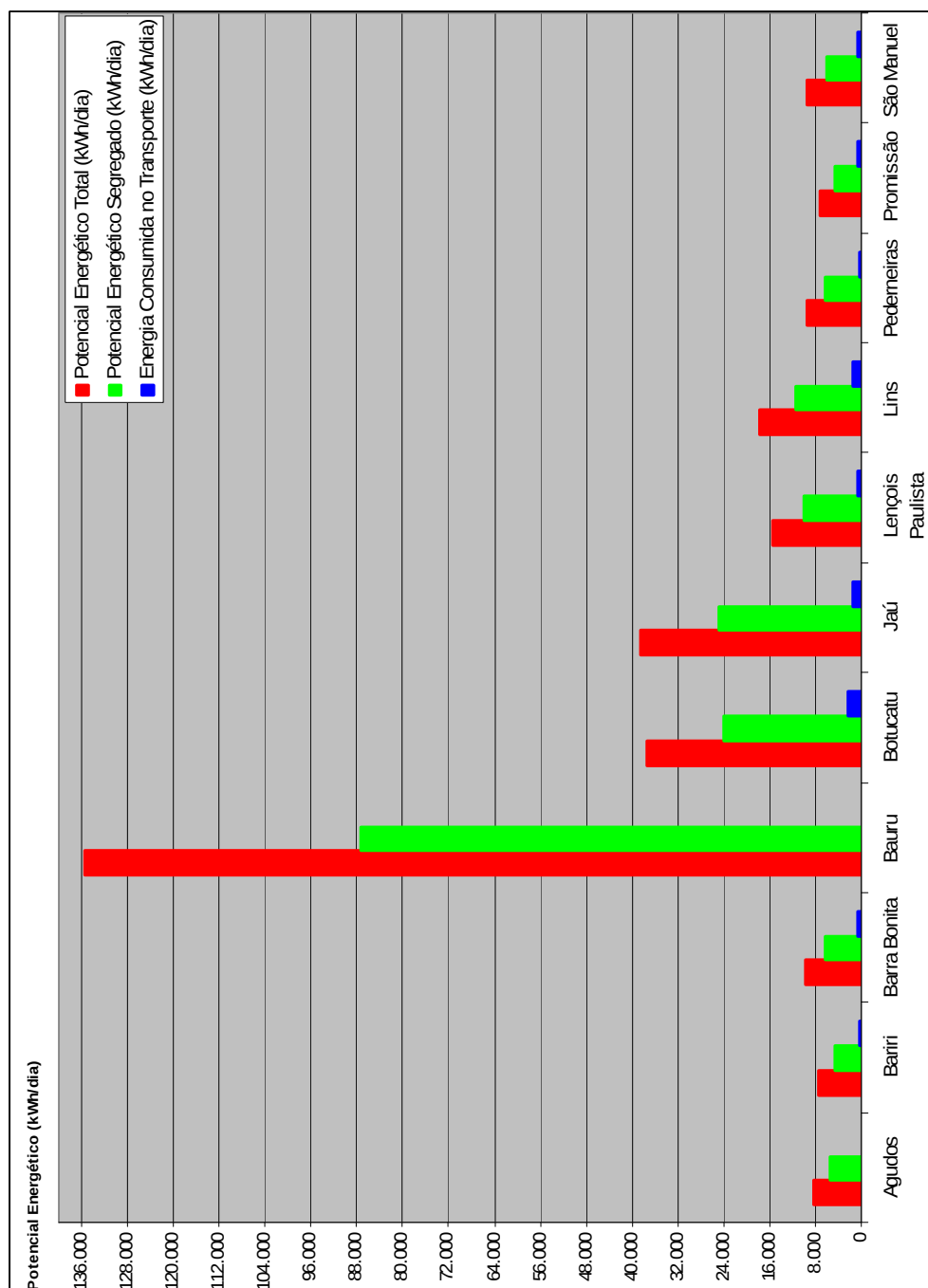


Figura 4.4: Potencial Energético Diário do RSU Total e Segregado e Consumo Energético no Transporte nas principais cidades da região estudada.

Enquanto que na Figura 4.2 tem-se o potencial energético de todos os municípios estudados, na Figura 4.4 destacam-se as principais cidades em termos de geração de RSU. São 11 cidades, representando 82% do total coletado. Observa-se também que as principais cidades da região em termos de geração apresentam elevado consumo energético no transporte dos resíduos, em função da necessidade de se fazer mais viagens para a planta incineradora.

A idéia ou estratégia de uma possível redução de 42 municípios inicialmente estudados para os 11 apresentados na Figura 4.4 justifica-se na medida em que seriam facilitadas as negociações para concepção política e logística do consórcio de municípios.

A cidade de Bauru agrega características que a tornam a melhor opção para sediar a planta regional para incineração de RSU, podendo-se destacar:

- maior geradora de RSU;
- localização central na região eleita, facilitando o transporte;
- esgotamento iminente de seu aterro sanitário;
- existência de distritos industriais que poderiam comportar a planta;

CAPÍTULO 5: CONCLUSÕES E SUGESTÕES

A destinação dos Resíduos Sólidos Urbanos tem sido um grande problema para muitos países. Espaços enormes são destinados a construção de aterros sanitários e lixões nas cidades brasileiras, promovendo problemas ambientais e sociais sérios. A incineração dos resíduos com recuperação de energia e tratamento eficiente dos efluentes gerados, tem sido utilizada em muitos países desenvolvidos, mas ainda é incipiente no Brasil.

Neste trabalho estudou-se a viabilidade da construção de uma planta incineradora de RSU na cidade de Bauru, que receberia resíduos de 42 municípios situados nesta região central do Estado de São Paulo. Os resultados mostraram que seria tecnicamente possível este empreendimento, dependendo porém de questões econômicas, investimentos, políticas sociais e o seu tempo de retorno. A constituição do Consórcio Intermunicipal de Tratamento de RSU é viável, vindo a atender a um grupo de municípios que enfrentam ou poderão enfrentar problemas com a destinação final de seu lixo. Além do mais, a proximidade e facilidade de acesso entre os envolvidos são fatores relevantes na execução do empreendimento.

Especificamente, o Poder Calorífico Inferior médio dos Resíduos Sólidos Urbanos da região, não considerando separação de materiais para fins de reciclagem é da ordem de 2.294 kcal/kg e 1.475 kcal/kg considerando a separação de papéis/papelão e plásticos, resultados obtidos pela utilização do software Combust para uma composição típica do RSU de Bauru. Esse potencial energético possibilita o uso da incineração como método para o tratamento dos resíduos sólidos nessa região.

Os resultados do estudo mostraram que poderiam ser gerados em torno de 355.623 kWh/dia de energia elétrica, sendo que 12.848 kWh/dia seriam usados para transporte da massa até Bauru, ou seja, um potencial energético líquido de 342.775 kWh/dia. Considerando a separação de plástico, papel/papelão para reciclagem, o potencial energético líquido seria de 215.811 kWh/dia.

A questão da segregação de materiais bons combustíveis influencia diretamente na redução da quantidade de energia que pode ser obtida na combustão do RSU. Pode-se, então inferir que, no presente caso, é mais vantajoso energeticamente a não separação de materiais para reciclagem.

Sugere-se que se faça um estudo de viabilidade econômica, abordando custos de implantação da usina de incineração, sua manutenção e operação.

CAPÍTULO 6: REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRELPE, Associação Brasileira de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. Panorama dos resíduos sólidos no Brasil, 2004.

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. Norma brasileira NBR nº 10.004: resíduos sólidos - classificação. Rio de Janeiro; 2004.

AGUIAR, A. As parcerias em programas de coleta seletiva de resíduos sólidos domésticos. São Paulo; [Dissertação de mestrado – Faculdade de Saúde Pública - USP] 1.999.

AMBIENTAL, A. Auditoria Ambiental, artigo disponível em <http://www.auditoriaambiental.com.br/artigos/43.pdf>, 2006.

ANDRADE, C. R. – Estimativa da vazão do gás do aterro sanitário de Bauru, Trabalho de Graduação FEB/UNESP, – 2001;

ANEEL, Boletim Energia. Brasília, Superintendência de Resolução Econômica, 2001. Disponível em: http://www.aneel.gov.br/arquivos/pdf/boletim_energia_055htm;

ARANDA, D. A. G.; A incineração controlada de resíduos sólidos - status mundial. Rio de Janeiro, Brasil, Mimeo - 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 1265: incineração de resíduos sólidos perigosos – padrões de desempenho. São Paulo, 1989.

BAIRD, C. ; Química Ambiental, Editora Bookman - 2002.

BALESTIERI, J. A. P. Planejamento de centrais de co-geração: uma abordagem multi-objetiva. 151f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia, Universidade de Campinas, Campinas - 1994;

BARRERAS, A. L. M.; PUJOL, R.O.. “La Combustion” – Ediciones CEAC, Barcelona, 1.996;

BIZZO, W. A.; GOLDSTEIN JR, L. Incineração de lixo urbano com geração de energia elétrica. In: Congresso Brasileiro De Planejamento Energético, Campinas - 1994;

BORBA, M. – “Energia Novos Cenários: O uso de Resíduos Sólidos Municipais para produzir Energia”, 20ª edição/2002;

BORSOI, Z. - Revista “Informe Infra-Estrutura”, nº 12, julho/1997;

BRASIL, Escola Nacional de Serviços Urbanos – IBAM e Ministério das Cidades – Secretária Nacional de Saneamento Ambiental – PMSS, Julho/2003;

BRITO, J.O.; BARRICHELO, L.E.G. Aspectos técnicos na utilização da madeira e carvão vegetal como combustíveis. In: Seminário de Abastecimento Energético Industrial Com Recursos Florestais, 2., São Paulo. Anais. São Paulo: Secretaria de Ciência e Tecnologia, p.101-108 - 1982.

CASTRO, J. N. C.; NASCIMENTO, N. Reciclagem: mais que um simples dever, uma grande necessidade. In: Jornada de Iniciação Científica e Pós-Graduação, Guaratinguetá - 2002;

CAVILL S, Sohail M . Strengthening accountability for urban services. Environ Urban Particip Govern. 2004.

CEMPRE Informa. Compromisso Empresarial para a Reciclagem. Disponível em: <http://www.cempre.org.br/> - 2005.

CEMPRE Informa. Compromisso Empresarial para a Reciclagem. Disponível em: <http://www.cempre.org.br/> - 2006.

CETESB Companhia de Tecnologia em Saneamento Ambiental . Inventário estadual de resíduos sólidos domiciliares: relatório de 2006. São Paulo: CETESB; 2007.

CEPEL, Centro de Pesquisa de Energia Elétrica - Encontro para Definição de Diretrizes para o Desenvolvimento de Energias Solar e Eólica no Brasil, que servirá de base à Política Nacional para estas áreas estratégicas, Declaração de Belo Horizonte, 1994;

ECO-TECH-SYSTEM, Controle Ambiental Ltda. Apostila Lavadores de Gases tipo “autoinduzido-Elai”, disponível em www.ecotechsystem.com.br - 2006.

EPA, Environmental Protection Agency. Municipal solid waste generation, recycling, and disposal in the United States: Facts and Figures for 2003 [online]. USEPA; 2005.

GABAI, I. – Incineração de Resíduos Especiais: Palestra Fiema, Brasil, novembro de 2004;

GIRSMIA – Gestão Integrada de Resíduos Sólidos Municipais e Impacto Ambiental, módulo I, 2006;

HAMADA, J. – “Destinação Final de Resíduos Urbanos, Apostila de mestrado da Universidade Estadual Paulista – abril/2006;

HAMADA, J. – “Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos”, Apostila de mestrado da Universidade Estadual Paulista, abril/2006;

HAUSER, P. D. Criação de valor e desenvolvimento sustentável: uma avaliação da incineração de resíduos sólidos municipais em projetos enquadráveis no Mecanismo de Desenvolvimento Limpo do Protocolo de Quioto. 155F. A dissertação submetida ao corpo docente do Instituto COPPEAD de Administração, Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, 2006.

HENRIQUES, R. M. Aproveitamento Energético Dos Resíduos Sólidos Urbanos: Uma Abordagem Tecnológica. Dissertação de Mestrado, UFRJ, Rio de Janeiro, 2004

HINRICHS, R. A.; KLEINBACH, M. Energia e Meio Ambiente, editora Thomson, 3ª edição, 2002;

HOLANDA, M.R. Perspectiva da Co-geração com Resíduos Sólidos Municipais sob a Ótica da Gestão Ambiental. 232f. Teses de Doutorado (Mestrado em Engenharia Mecânica - Transmissão e Conversão de Energia) - Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá - 2003.

IB, Instituto Barbatti; Ano I, nº 1, fevereiro/2006;

IBGE, Instituto Brasileiro De Geografia e Estatística. Indicadores de desenvolvimento sustentável: Brasil 2004. Rio de Janeiro: IBGE; 2000.

IBGE, Instituto Brasileiro De Geografia e Estatística. Censo de 1990.

IEA, -. (1997). "APPENDIX K WASTE INCINERATION." Renewables in Power Generation: Towards a Better Environment. IN, .-. (2002). Diário Oficial da União - DOU, Governo Nacional. 2004.

IPT,- Lixo Municipal - Manual de Gerenciamento Integrado. São Paulo, Brasil - 1998.

JAMES, B. – “Lixo e Reciclagem”, editora Scipione, 5ª edição/2001;

LIMA, J. D. – “Sistema de Destinação Final de Resíduos Sólidos Urbanos”, 1ª edição - 2003;

LIZARRAGA, J. M. S. - Cogeneracion, 2ª edição, editora Universidad Del Pais Vasco, Bilbao 1994;

LOPES, A. A. - Estudo da Gestão e do Gerenciamento Integrado dos Resíduos Sólidos Urbanos no município de São Carlos, dissertação de mestrado, 2003;

LORA, E. E. S. Prevenção e controle da poluição nos setores energético, industrial e de transporte. Brasília: ANEEL, 2000. 503p.

MADEIRA, R. G. - Trabalho de Graduação: Recuperação Energética em uma Usina Incineradora de Resíduos Sólidos Urbanos Operando em Cogeração, dezembro/1998;

MATTOS, T.F.L., Diagnóstico dos Resíduos Poliméricos presentes nos resíduos sólidos domiciliares gerados em São Carlos, 2005;

MENEZES, R. A. Centrais termelétricas a lixo: alternativa segura para a geração de energia. Rio de Janeiro: GRUPO KOMPAC, 2001

MENEZES, R. A.; GERLACH, J. L.; MENEZES, M. A. Estágio atual da incineração no Brasil. Rio de Janeiro: GRUPO KOMPAC, 2000.

MERCEDES, S. S. P. Resíduos urbanos - saneamento. Brasília: ANEEL, 2002.

OGAWA, A. - “Separation of particles from air and gases”, vol II, CRC Press, 1984.

OLIVEIRA, G. - Consórcio intermunicipal para o manejo integrado de lixo em cinco municípios da região administrativa de Bauru / Gilberto de Oliveira. – Rio Claro : [s.n.], 2004.

OPAS, Organização Pan- Americana da Saúde. Dados do Brasil para a 1ª avaliação regional dos serviços de manejo de resíduos sólidos municipais nos países da América Latina e Caribe [CD ROM]. Brasília (DF): Ministério das Cidades/ OPAS; 2003.

OZAWA, M. - Dissertação de mestrado – USP – “Determinação Experimental da Resistividade ôhmica de Cinzas volantes para projeto de Precipitadores Eletrostáticos”; São Paulo – 2003;

PENA, D. S., Seminário Internacional - Aproveitamento Energético De Resíduos Sólidos Urbanos No Estado De São Paulo – Pronunciamento De Abertura, 2007

PEREIRA, A. S. P.; OLIVEIRA, L. B., REIS, M. M. – “Resíduos Sólidos Urbanos: Lixo ou Combustível”, janeiro/2000;

PRODAM. Lixo problema: solução incineração. São Paulo, 1999.

PNUD, Programa das Nações Unidas para o desenvolvimento. Mecanismo de Desenvolvimento Limpo [on-line]. 2005

POLETO, J. A. F. - Viabilidade Energética e Econômica da Incineração de RSU Considerando a Segregação para Reciclagem. Dissertação de Mestrado, UNESP, Bauru, 2008.

RODRIGUES, F. L., CAVINATTO, V. M. – “Lixo”, editora moderna, 8ª edição/2001;

SERÔA, M., Sayago ED. Propostas de instrumentos econômicos ambientais para a redução do lixo urbano e o reaproveitamento de sucatas no Brasil. Rio de Janeiro: IPEA; 1998.

SILVA, C. L. - Tratamento Térmicos de Resíduos Sólidos, Apostila do Curso de Pós - Graduação – FEB/UNESP, Bauru, 1998.

SILVA, S. T. A proteção da qualidade do ar. In: Congresso Internacional De Direito Ambiental (5 Anos Após A Eco-92), 1997, Rio de Janeiro. Anais... Rio de Janeiro, 1997.

SIMONELLI, S. B. J. - Levantamento da Geração dos Resíduos de Serviço de Saúde do Campus de Bauru da Universidade de São Paulo, dissertação de mestrado, fevereiro de 2001;

TCHOBANOGLOUS, G., THEISEN, H. S., Integrated Solid Waste Management: Engineering Principles and Management Issues, McGraw-Hill, Inc. International Ed., 1996.

TOLMASQUIM, M. T. e. a.- Fontes Renováveis de Energia no Brasil. Rio de Janeiro, Inter-ciência, 2003.

TUDINISI, H. S. F. – “Usos de Energia: Sistemas, fontes e alternativas”, editora Atual, 6ª edição/1996;

VILHENA, A. Guia da coleta seletiva de lixo. São Paulo, 2000;

WAITE, R. Household waste recycling. London: Earthscan Publications; 1995.

ZVEIBIL, V. Z. - Manual de gerenciamento integrado de resíduos sólidos [on-line]. Rio de Janeiro: IBAM; 2001.

Anexo A – Planilha de Resultados do Software Combust

RESÍDUOS DE COMIDA

Combustión estequiométrica o con exceso de aire, de un combustible sólido o líquido

FRACCIÓN MÁSCICA DE:

Carbono = 0,14
Oxígeno = 0,11
Cenizas = 0,02

Hidrógeno = 0,02
Nitrógeno = 0,01

Azufre = 0,0
Agua = 0,7

Carbón

Coeficiente de exceso de aire = 1,0

RESULTADOS

Masa mol. combustible = 15,33 kg/kmol
Masa mol. humos húme. = 25,37 kg/kmol
Masa mol. humos secos = 31,106 kg/kmol

Densidad humos = 1,133 kg/Nm³

RAC (kg) = 1,82 kg aire/kg comb. con cen.
RAC (kg) = 1,848 kg aire/kg comb. sin cen.
RAC (kmol) est. = 0,982 kmol aire/kmol comb.
RAC (kmol) real = 0,982 kmol aire/kmol comb.

RHHC (kmol) = 1,721 kmol humos/kmol gas
RHHC (kg) = 2,848 kg humos húm./kg comb. sin cen.
RHSC (kmol) = 0,968 kmol humos secos/kmol gas
RHSC (kg) = 1,963 kg humos secos/kg comb. sin cen.
RHHC (kg/Nm³) = 1,949 kg humos húm./Nm³ gas
RHSC (kg/Nm³) = 1,344 kg humos sec./Nm³ gas

PCS neto = 21,278 MJ/kg carbón neto
PCS bruto = 6,064 MJ/kg carbón bruto
PCI neto = 19,777 MJ/kg carbón neto
PCI bruto = 5,601 MJ/kg carbón bruto

5,601 MJ/kg = 1.337,77 kcal/kg

COMPOSICIÓN HUMOS HÚMEDOS

CO ₂	10,85 %
H ₂ O	43,77 %
SO ₂	0,03 %
O ₂	0,0 %
N ₂	45,35 %

COMPOSICIÓN HUMOS SECOS

CO ₂	19,3 %
SO ₂	0,05 %
O ₂	0,0 %
N ₂	80,65 %

PAPEL E PAPELÃO

Combustión estequiométrica o con exceso de aire, de un combustible sólido o líquido

FRACCIÓN MÁSCICA DE:

Carbono = 0,41
Oxígeno = 0,42
Cenizas = 0,05

Hidrógeno = 0,06
Nitrógeno = 0,0

Azufre = 0,0
Agua = 0,06

Carbón

Coeficiente de exceso de aire = 1,0

RESULTADOS

Masa mol. combustible = 12,13 kg/kmol
Masa mol. humos húm. = 29,24 kg/kmol
Masa mol. humos secos = 31,315 kg/kmol

Densidad humos = 1,305 kg/Nm³

RAC (kg) = 4,838 kg aire/kg comb. con cen.
RAC (kg) = 5,076 kg aire/kg comb. sin cen.
RAC (kmol) est. = 2,134 kmol aire/kmol comb.
RAC (kmol) real = 2,134 kmol aire/kmol comb.

RHHC (kmol) = 2,519 kmol humos/kmol gas
RHHC (kg) = 6,076 kg humos húm./kg comb. sin cen.
RHSC (kmol) = 2,127 kmol humos secos/kmol gas
RHSC (kg) = 5,493 kg humos secos/kg comb. sin cen.
RHHC (kg/Nm³) = 3,289 kg humos húm./Nm³ gas
RHSC (kg/Nm³) = 2,974 kg humos sec./Nm³ gas

PCS neto = 18,419 MJ/kg carbón neto
PCS bruto = 16,448 MJ/kg carbón bruto
PCI neto = 17,033 MJ/kg carbón neto
PCI bruto = 15,098 MJ/kg carbón bruto

→ 15,098 MJ/kg = 3.606,09 kcal/kg

COMPOSICIÓN HUMOS HÚMEDOS

CO ₂	17,42 %
H ₂ O	15,57 %
SO ₂	0,03 %
O ₂	0,0 %
N ₂	66,97 %

COMPOSICIÓN HUMOS SECOS

CO ₂	20,64 %
SO ₂	0,04 %
O ₂	0,0 %
N ₂	79,33 %

TÊXTEIS

Combustión estequiométrica o con exceso de aire, de un combustible sólido o líquido

FRACCIÓN MÁSCICA DE:

Carbono = 0,5
Oxígeno = 0,28
Cenizas = 0,02

Hidrógeno = 0,06
Nitrógeno = 0,04

Azufre = 0,0
Agua = 0,1

Carbón

Coeficiente de exceso de aire = 1,0

RESULTADOS

Masa mol. combustible = 11,3 kg/kmol
Masa mol. humos húme. = 29,22 kg/kmol
Masa mol. humos secos = 30,998 kg/kmol

Densidad humos = 1,304 kg/Nm³

RAC (kg) = 6,49 kg aire/kg comb. con cen.
RAC (kg) = 6,636 kg aire/kg comb. sin cen.
RAC (kmol) est. = 2,599 kmol aire/kmol comb.
RAC (kmol) real = 2,599 kmol aire/kmol comb.

RHHC (kmol) = 2,952 kmol humos/kmol gas
RHHC (kg) = 7,635 kg humos húm./kg comb. sin cen.
RHSC (kmol) = 2,547 kmol humos secos/kmol gas
RHSC (kg) = 6,989 kg humos secos/kg comb. sin cen.
RHHC (kg/Nm³) = 3,85 kg humos húm./Nm³ gas
RHSC (kg/Nm³) = 3,525 kg humos sec./Nm³ gas

PCS neto = 24,198 MJ/kg carbón neto
PCS bruto = 21,246 MJ/kg carbón bruto
PCI neto = 22,686 MJ/kg carbón neto
PCI bruto = 19,868 MJ/kg carbón bruto

19,868 MJ/kg = 4.745,39 kcal/kg

COMPOSICIÓN HUMOS HÚMEDOS

CO ₂	16,14 %
H ₂ O	13,72 %
SO ₂	0,01 %
O ₂	0,0 %
N ₂	70,13 %

COMPOSICIÓN HUMOS SECOS

CO ₂	18,71 %
SO ₂	0,01 %
O ₂	0,0 %
N ₂	81,28 %

MADEIRA

Combustión estequiométrica o con exceso de aire, de un combustible sólido o líquido

FRACCIÓN MÁSCICA DE:

Carbono = 0,38
Oxígeno = 0,3
Cenizas = 0,04

Hidrógeno = 0,05
Nitrógeno = 0,03

Azufre = 0,0
Agua = 0,2

Carbón

Coefficiente de exceso de aire = 1,0

RESULTADOS

Masa mol. combustible = 12,44 kg/kmol
Masa mol. humos húme. = 28,81 kg/kmol
Masa mol. humos secos = 31,153 kg/kmol

Densidad humos = 1,286 kg/Nm³

RAC (kg) = 4,725 kg aire/kg comb. con cen.
RAC (kg) = 4,901 kg aire/kg comb. sin cen.
RAC (kmol) est. = 2,114 kmol aire/kmol comb.
RAC (kmol) real = 2,114 kmol aire/kmol comb.

RHHC (kmol) = 2,548 kmol humos/kmol gas
RHHC (kg) = 5,9 kg humos húm./kg comb. sin cen.
RHSC (kmol) = 2,095 kmol humos secos/kmol gas
RHSC (kg) = 5,244 kg humos secos/kg comb. sin cen.
RHHC (kg/Nm³) = 3,277 kg humos húm./Nm³ gas
RHSC (kg/Nm³) = 2,913 kg humos sec./Nm³ gas

PCS neto = 20,636 MJ/kg carbón neto
PCS bruto = 15,766 MJ/kg carbón bruto
PCI neto = 19,222 MJ/kg carbón neto
PCI bruto = 14,6 MJ/kg carbón bruto

COMPOSICIÓN HUMOS HÚMEDOS

CO ₂	16,13 %
H ₂ O	17,79 %
SO ₂	0,03 %
O ₂	0,0 %
N ₂	66,05 %

COMPOSICIÓN HUMOS SECOS

CO ₂	19,62 %
SO ₂	0,04 %
O ₂	0,0 %
N ₂	80,34 %

14,6 MJ/kg = 3.487,15 kcal/kg

PLÁSTICO

Combustión estequiométrica o con exceso de aire, de un combustible sólido o líquido

FRACCIÓN MÁSCA DE:

Carbono = 0,59
Oxígeno = 0,22
Cenizas = 0,1

Hidrógeno = 0,07
Nitrógeno = 0,0

Azufre = 0,0
Agua = 0,02

Carbón

Coeficiente de exceso de aire = 1,0

RESULTADOS

Masa mol. combustible = 9,74 kg/kmol
Masa mol. humos húm. = 29,35 kg/kmol
Masa mol. humos secos = 30,862 kg/kmol

Densidad humos = 1,31 kg/Nm³

RAC (kg) = 8,211 kg aire/kg comb. con cen.
RAC (kg) = 9,104 kg aire/kg comb. sin cen.
RAC (kmol) est. = 3,075 kmol aire/kmol comb.
RAC (kmol) real = 3,075 kmol aire/kmol comb.

RHHC (kmol) = 3,354 kmol humos/kmol gas
RHHC (kg) = 10,103 kg humos húm./kg comb. sin cen.
RHSC (kmol) = 2,959 kmol humos secos/kmol gas
RHSC (kg) = 9,372 kg humos secos/kg comb. sin cen.
RHHC (kg/Nm³) = 4,394 kg humos húm./Nm³ gas
RHSC (kg/Nm³) = 4,076 kg humos sec./Nm³ gas

PCS neto = 29,959 MJ/kg carbón neto
PCS bruto = 26,424 MJ/kg carbón bruto
PCI neto = 28,147 MJ/kg carbón neto
PCI bruto = 24,588 MJ/kg carbón bruto

24,588 MJ/kg = 5.872,74 kcal/kg

COMPOSICIÓN HUMOS HÚMEDOS

CO ₂	15,78 %
H ₂ O	11,79 %
SO ₂	0,0 %
O ₂	0,0 %
N ₂	72,43 %

COMPOSICIÓN HUMOS SECOS

CO ₂	17,89 %
SO ₂	0,0 %
O ₂	0,0 %
N ₂	82,11 %

Anexo B

Inventário Estadual de Resíduos Sólidos Domiciliares, CETESB – 2006 – “partes”

Tabela 3 - Enquadramento dos municípios do Estado de São Paulo, por Agências Ambientais, quanto às condições de tratamento e disposição dos resíduos domiciliares (IQR e IQC) no período de 1997 a 2006

Agência: *Bauria*

MUNICÍPIO	UGRHI	Lixo (t/dia)	INVENTÁRIO												ENQUADRAMENTO E OBSERVAÇÃO		TAC	LI	LO													
			1997		1998		1999		2000		2001		2002							2003		2004		2005		2006						
			IQR	IQC	IQR	IQC	IQR	IQC	IQR	IQC	IQR	IQC	IQR	IQC	IQR	IQC	IQR	IQC	IQR	IQC	IQR	IQC										
	13	12,9	2,8		4,9		3,7		2,7		4,0		6,9		6,4		5,6		6,4		7,2		C	N	Sim	Sim						
	13	2,2	3,9	3,2	6,5	4,0	7,4	6,9	9,9	9,3	7,4	8,2	9,4	5,9	10,0	6,0	7,1	6,1	8,3		8,9		A	S	Sim	Sim						
	13	3,5	4,5		6,8		7,4		7,4		8,6		10,0		9,4		9,4		8,4		8,3		A	S	Sim	Sim						
	16	1,3	5,8		4,9		8,1		6,0		7,6		10,0		10,0		9,4		8,9		9,3		A	S	Sim	Sim						
	16	0,4	5,5		5,1		5,9		4,5		8,2		9,1		10,0		10,0		8,4		8,7		A	S	Sim	Sim						
	13	11,4	6,9		7,1		9,7		9,8		9,7		10,0		10,0		5,8		6,9		6,0		I	S	Sim	Sim						
	13	15,1	3,1		3,8		3,1		3,2		6,0		7,0		5,9		3,9		3,7		5,4		I	S	Não	Não						
	13	211,7	8,7		8,7		8,7		9,8		9,8		9,8		9,5		9,5		7,7		8,7		A	S	Sim	Sim						
	13	4,1	4,4		4,7		9,7		9,7		9,7		10,0		6,6		5,6		7,4		4,9		7,7		6,1	7,4	5,8	C	S	Sim	Sim	
	13	1,4	4,2		4,7		9,7		9,7		9,7		10,0		9,2		7,3		8,8		8,0		C	N	Sim	Sim						
	13	0,7	4,7		6,6		6,6		8,6		8,2		9,7		8,8		10,0		9,3		9,8		A	S	Sim	Sim						
	16	5,3	3,3		6,6		4,7		4,2		3,9		9,8		6,0		6,3		7,8		5,7		7,2		4,6	8,0		C	S	Sim	Sim	
	13	9,0	4,2		7,3		8,9		7,7		7,9		9,6		9,0		9,2		7,9		8,8		A	S	Sim	Sim						
	16	4,1	4,5		5,5		8,4		4,6		2,9		6,9		10,0		9,8		8,8		8,7		A	S	Sim	Sim						
	16	2,1	4,6		5,7		4,2		4,6		5,6		10,0		9,6		10,0		8,9		8,9		A	S	Sim	Sim						
	13	3,0	5,1		7,3		7,1		6,4		9,9		9,4		5,1		8,7		4,4		7,3		3,9		8,8		8,5	A	S	Sim	Sim	
	13	9,4	3,1		3,8		3,1		3,2		6,0		7,0		10,0		7,7		8,4		8,5		A	N	Sim	Sim						
	13	0,7	6,9		8,7		9,7		9,6		9,7		10,0		10,0		10,0		8,7		9,5		A	S	Sim	Sim						
	13	4,2	3,8		4,2		4,3		6,4		6,8		9,8		9,7		7,6		4,7		4,7		I	N	Sim	Sim						
	13	60,2	4,2		4,7		4,0		4,0		6,1		5,4		6,0		5,5		3,2		5,5		I	S	Não	Não						
	13	24,0	4,6		4,7		6,5		4,7		5,7		5,6		6,6		4,8		7,8		6,6		9,4		5,9	7,7	8,4	6,1	A	S	Sim	Sim
	16	27,8	2,8		6,8		6,2		5,1		4,6		5,7		6,4		5,3		4,1		4,2		I	S	Sim	Não						

LEGENDAS

(*) FECOP / (H) PROGRAMA ATERRO SANITÁRIO EM VALAS / (S) FEHIDRO

(A) Condição Adequada / (C) Condição Controlada / (I) Condição Inadequada

(L.I.) Licença de Instalação / (L.O.) Licença de Operação / (D) Dispõe em / (A.P.) Aterro Particular



Diretoria de Controle de Poluição Ambiental
Departamento de Planejamento de Ações de Controle, Informações e Análises Ambientais
Divisão de Planejamento de Ações de Controle e Informações Ambientais

CETESB

Tabela 3 - Enquadramento dos municípios do Estado de São Paulo, por Agências Ambientais, quanto às condições de tratamento e disposição dos resíduos domiciliares (IQR e IQC) no período de 1997 a 2006

Macaúba	13	6,7	6,8	8,5	9,2	6,0	6,5	10,0	10,0	6,1	4,4	4,3	1	S	Sim	Sim					
Maciços do Tietê	13	5,0	5,3	6,7	5,8	5,5	6,1	8,7	9,4	9,2	10,0	8,8	A	N	Sim	Sim					
Pederneiras	13	14,9	3,6	8,9	9,7	7,7	9,7	9,4	5,6	9,5	7,3	7,4	C	S	Sim	Sim					
Pinjail	16	6,8	7,0	7,9	6,0	4,8	6,6	10,0	9,4	7,9	8,5	7,6	C	S	Sim	Sim					
Pratimanga	16	3,8	3,2	3,1	6,7	9,2	6,2	9,0	7,3	7,7	10,0	9,5	A	S	Sim	Sim					
Pongai	16	1,2	4,5	7,0	5,5	8,2	8,4	9,2	8,2	9,6	7,4	6,9	8,5	7,1	8,8	6,2	A	D Uru			
Presidente Alves	16	1,3	5,5	7,3	8,1	7,0	5,0	8,1	7,6	7,9	4,6	6,3	C	S	Não	Não					
Reginópolis	16	1,5	5,5	6,3	7,3	6,1	8,2	8,4	9,2	8,6	9,4	10,0	8,3	8,9	A	S	Sim	Sim			
Sabino	16	1,7	5,9	6,7	5,8	5,3	8,6	10,0	9,6	8,3	8,0	8,3	A	S	Sim	Sim					
São Manoel	13	14,8	4,4	5,0	4,4	2,7	2,7	4,9	10,0	8,5	9,2	8,9	A	S	Sim	Sim					
Uru	16	0,4	2,8	3,8	7,3	6,1	8,2	8,4	9,2	8,2	9,6	7,4	6,9	8,5	7,1	8,8	6,2	A	S	Sim	Sim
Promissão	19	11,0	2,5	2,9	2,4	2,4	6,4	3,9	4,4	3,1	4,3	2,9	4,5	2,9	8,9	5,1	A	S	Sim	Não	
Lucianópolis	17	0,6	5,8	9,4	9,4	4,9	8,7	7,6	8,6	8,6	6,9	9,0	A	S	Sim	Sim					
Getulina	20	3,1	3,1	4,7	5,2	9,5	8,0	8,4	7,6	8,6	7,9	8,2	A	N	Sim	Sim					
Gumimé	20	1,7	5,7	7,1	6,5	9,0	3,3	9,6	9,6	9,0	8,2	8,3	A	N	Sim	Sim					
Duarina	17	4,5	4,1	7,1	5,7	5,7	9,5	9,1	7,1	7,6	6,8	6,3	C	S	Sim	Sim					
Botucatu	10	58,5	8,8	7,5	8,9	8,9	8,2	7,6	8,2	5,8	8,2	8,2	A	N	Sim	Sim					
Cabralia Paulista	17	1,8	3,3	5,4	4,0	2,6	9,5	2,7	1,6	1,8	1,8	8,0	C	S	Sim	Sim					
Paulistânia	17	0,4	5,4	4,5	5,8	9,5	7,2	9,2	9,2	8,6	8,7	8,8	A	S	Sim	Sim					
Ubatuba	17	1,2	2,8	9,4	8,6	7,9	8,0	9,8	8,8	8,6	8,5	8,6	A	S	Sim	Sim					

LEGENDAS

(*) FICOP / (6) PROGRAMA ATERRO SANITÁRIO EM VALAS / (3) FEHIDRO

(A) Condição Adequada / (C) Condição Controlada / (B) Condição Inadequada

(L.A.) Licença de Instalação / (L.O.) Licença de Operação / (D) Disposto em / (A.P.) Ativa Particular



Departamento de Controle de Qualidade Ambiental
Departamento de Planejamento de Ações de Controle, Informações e Análises Ambientais
Divisão de Planejamento de Ações de Controle e Informações Ambientais

Anexo C

Planilha de Cálculos

