



CETESB

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL

CETESB - CIA. DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL
BIBLIOTECA Prof. Dr. Lucas Nogueira Garcez
Av. Prof. Frederico Hermann Junior, 345 - Pinheiros
05489-900 - SÃO PAULO - BRASIL

O LIXO COMO FONTE DE ENERGIA
PARA A INDÚSTRIA DA REGIÃO
DE SANTOS

TEXTO BÁSICO

- 1981 -

LUIZ AUGUSTO R. STELLIN
ENGENHEIRO

DIRETORIA

Werner Eugênio Zulauf
Diretor-Presidente

Antônio Alves de Almeida
Diretor Administrativo

Fredmar Corrêa
Diretor de Planejamento Ambiental

Nelson Mansour Nabhan
Diretor de Engenharia

Nelson Vieira de Vasconcelos
Diretor de Controle

Paulo Bezerril Júnior
Diretor Financeiro

Samuel Murgel Branco
Diretor de Pesquisa

7-80



- CETESB -

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL

CETESB - CIA. DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL
BIBLIOTECA Prof. Dr. Lucas Nogueira Garcez
Av. Prof. Frederico Hermann Junior, 345 - Pinheiros
05489-900 - SÃO PAULO - BRASIL

O LIXO COMO FONTE DE ENERGIA PARA A INDÚSTRIA DA REGIÃO DE SANTOS

TEXTO BÁSICO

- 1981 -

- SEP -

SECRETARIA DE ECONOMIA E PLANEJAMENTO DO ESTADO DE SÃO PAULO

EQUIPE TÉCNICA

CETESB - COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL

Engº José Francisco Furquim de Campos - Superintendente
Eng^a Maria Helena de Andrade Orth - Coordenadora Técnica
Engº Roberto de Campos Lindenberg - Coord. Administrativo
Engº Cyro Bernardes Júnior
Engº Fernando Antonio Wolmer
Engº Francisco Xavier Ribeiro da Luz
Farm. Glória Maria de Sobral Plascak
Engº Helio Narchi
Engº Luiz Augusto Ramos Stellin
Engº Mário Narduzzo
Engº Pedro Alêm Sobrinho
Engº Pedro Penteado de Castro Neto

COSIPA - COMPANHIA SIDERÚRGICA PAULISTA

Engº José Raymundo Leal Machado
Engº Werner Eugênio Zulauf

CONSULTORES

CONSULTEC S.A - Planejamento, Consultas e Serviços Técnicos
EMC - Ehrlich & Meirelles Consultoria Ltda.
HICSAN LTDA - Engenheiros Consultores
SIDNEY BENEDITO HENRIQUE PINTO - Engenheiro

SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO

CETESB - CIA. DE TECNOLOGIA E SANEAMENTO AMBIENTAL
BIBLIOTECA

- 1 - RESUMO
- 2 - CONCLUSÕES
- 3 - QUANTIDADES DE LIXO ENERGETICAMENTE APROVEITÁVEL NA BAI
XADA SANTISTA
- 4 - ATRIBUTOS DO LIXO COMO FONTE ENERGÉTICA
- 5 - COMPARAÇÃO ENTRE OS EMPREENDIMENTOS PROPOSTOS
- 6 - SELEÇÃO DO EMPREENDIMENTO MAIS INTERESSANTE
- 7 - ESTUDOS DE VIABILIDADE TÉCNICA DO EMPREENDIMENTO
- 8 - IMPACTO AMBIENTAL
- 9 - ESTUDOS DE VIABILIDADE ECONÔMICO-FINANCEIRA DO EMPREEN
DIMENTO
- 10 - LINHAS DE FINANCIAMENTO
- 11 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

4.1.2	- Caracterização físico-química e po der calorífico do lixo	57
4.1.3	- Mercado potencial de vapor de água..	57
4.1.4	- Estimativa das taxas de produção de vapor	64
4.1.5	- Expectativa da produção de vapor ...	66
4.2	- Fonte potencial de geração de gás combustí vel	70
4.2.1	- Fundamentos básicos da digestão anae rôbia	70
4.2.2	- Composição de resíduos sólidos dis postos em aterros sanitários	71
4.2.3	- Composição e poder calorífico dos ga ses de aterros sanitários	72
4.2.4	- Taxas de produção de gás	77
4.2.5	- Considerações sobre os dados compila dos e estimativa da taxa de produção adotada	78
4.2.6	- Expectativa da produção de gás com bustível	87
5	- COMPARAÇÃO ENTRE OS EMPREENDIMENTOS PROPOSTOS	93
5.1	- Aproveitamento energético	95
5.2	- Área necessária	98
5.3	- Transporte do lixo	99
5.4	- Transporte do produto	100
5.5	- Operação e manutenção	101
5.6	- Poluição	102
5.7	- Investimentos e custos operacionais	104
6	- SELEÇÃO DO EMPREENDIMENTO MAIS INTERESSANTE	108
6.1	- Empreendimento selecionado	110
6.2	- Pesquisa de áreas apropriadas	111
6.2.1	- Levantamentos	111
6.2.2	- Pré-seleção das áreas	111
6.2.3	- Seleção das áreas	112

CETESB - CIA. DE TECNOLOGIA E SANEAMENTO AMBIENTAL
BIBLIOTECA

6.3 - Características da área selecionada para o a terro sanitário	117
6.3.1 - Considerações gerais	117
6.3.2 - Avaliação da capacidade de recepção de lixo na área selecionada - vida útil do aterro	118
6.4 - Transporte do lixo	124
6.4.1 - Sistemas de transporte	124
6.4.2 - Estação de transbordo rodoviário de lixo	128
6.4.3 - Concepção da estação de transbordo de Santos	129
6.4.4 - Concepção das estações de transbordo de Guarujá e Praia Grande	131
6.4.5 - Operação das estações de transbordo.	132
7 - ESTUDOS DE VIABILIDADE TÉCNICA DO EMPREENDIMENTO .	134
7.1 - Tecnologia adotada na execução do aterro sa nitário	137
7.2 - Caracterização do gás proveniente do aterro sanitário	142
7.3 - Transporte do gás	146
7.4 - Utilização do gás bioquímico	149
8 - IMPACTO AMBIENTAL	151
8.1 - Redução da poluição das águas	155
8.2 - Redução da poluição do ar	156
8.3 - Redução da poluição do solo	159
9 - ESTUDOS DE VIABILIDADE ECONÔMICO-FINANCEIRA DO EM PREENDIMENTO	160
9.1 - Alternativas	165
9.2 - Investimentos necessários	166
9.3 - Custos operacionais	171
9.4 - Receitas provenientes da utilização do GBQ .	176
9.5 - Resumo dos investimentos e custos operacio nais	179

9.6 - Fluxo de caixa e rentabilidade.....	181
10 - LINHAS DE FINANCIAMENTO	186
10.1 - Linhas de financiamento para a implantação do projeto	189
10.2 - Linhas de financiamento para o projeto e es tudos de desenvolvimento	193
10.3 - As outras entidades contatadas	196
10.4 - Recomendações	197
11 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	198

APRESENTAÇÃO

No mundo de hoje, todos precisam estar atentos e motivados para equacionar o grande problema da economia de energia. Na verdade, tal equacionamento deve envolver não só aspectos referentes à racionalização do consumo de combustíveis, como também a utilização de diferentes fontes de energia, sejam elas de tecnologia tradicional ou avançada. Além disso, será preciso incentivar o uso de certas fontes que têm estado em desuso e, mesmo, outras que sempre foram desprezadas.

Assim sendo, através do Convênio assinado dia 11 de Agosto de 1980, a Secretaria de Economia e Planejamento - SEP solicitou à CETESB o desenvolvimento de estudos que visam o aproveitamento do lixo como fonte de energia não poluente para a indústria da Região Metropolitana da Baixada Santista, contribuindo consequentemente para minimizar outro grave problema que é o da destinação final dos resíduos sólidos coletados nos Municípios de Santos, São Vicente, Cubatão, Guarujá e Praia Grande.

Este trabalho vem em boa hora concretizar a associação de uma disposição final de lixo em aterro sanitariamente controlado com o efetivo uso do gás produzido, cobrindo parte da demanda de energia de um grande consumidor - a COSIPA Companhia Siderúrgica Paulista - que está interessado em aproveitar o gás combustível dele derivado.

Ao apresentar este documento à consideração da SEP, cabe-nos ressaltar o esforço empreendido pela equipe da CETESB e seus consultores.

Engº Camal A.S. Rameh
Diretor

CETESB - CIA. DE TECNOLOGIA E SANEAMENTO AMBIENTAL
BIBLIOTECA

1 - RESUMO

1 - RESUMO

CETESB - CIA. DE TECNOLOGIA E SANEAMENTO AMBIENTAL
BIBLIOTECA

1.1 - DISPONIBILIDADE DE MATÉRIA PRIMA - QUANTIDADES DE LIXO

Conhecido o problema de disposição final dos resíduos sólidos produzidos nos municípios da Baixada Santista, procedeu-se aos levantamentos das quantidades de lixo coletado em épocas de temporada e fora de temporada, nos municípios de Santos, São Vicente, Cubatão, Guarujá e Praia Grande. Com base nestes valores, chegou-se às quantidades médias de lixo coletado no ano de 1979 para os cinco municípios.

A seguir, utilizando-se dados históricos de quantidades de lixo coletado e de crescimento populacional urbano, obteve-se a projeção das quantidades coletadas dos lixos de Santos, São Vicente, Cubatão, Guarujá e Praia Grande, para os anos de 1980 a 2001.

Estas projeções são a base em que se fundamenta todo o estudo de viabilidade técnica e econômica de aproveitamento energético do lixo.

1.2 - ATRIBUTOS DO LIXO COMO FONTE ENERGÉTICA - SELEÇÃO DO EMPREENDIMENTO MAIS INTERESSANTE

O estudo enfoca duas formas de aproveitamento de lixo como fonte de energia: a incineração com geração de vapor de água e a construção de um aterro sanitário projetado especificamente para a formação e captação de gás bioquímico combustível.

Foram levantadas bibliografias específicas e fontes de informação relativas à incineração de resíduos sóli

dos e à produção de gás em aterros sanitários.

Cálculos preliminares indicaram que com a incineração de 1,0 t de lixo da Baixada Santista é possível gerar 1,2 t de vapor (valor do PCI do lixo de 1 076 kcal/kg).

Quanto à geração de gás bioquímico, a maioria das experiências foi realizada em aterros sanitários já existentes, os quais não foram construídos com a finalidade de gerar gás, portanto sem a estanqueidade da tecnologia proposta no presente estudo.

Assim, os valores de produção de gás encontrados nas pesquisas bibliográficas mostraram variações de 248 Nm³/t até 410 Nm³/t de lixo.

Tendo em vista tais resultados, adotou-se para este estudo, com alguma margem de segurança, uma produção útil (descontadas as perdas do sistema) de gás bioquímico - GBQ de 154 Nm³ por tonelada de lixo disposto no aterro, por um período de 12 anos.

Com os dados básicos obtidos para o processo de incineração e produção de GBQ foi possível fazer-se uma comparação entre os empreendimentos propostos (ver item 5), concluindo-se o seguinte:

. do ponto de vista do aproveitamento energético, a incineração tem maior potencial, desde que se façam investimentos de ampliação de capacidade do incinerador a cada 8 anos;

. do ponto de vista de poluição, a instalação de um incinerador de lixo em Cubatão deve ser precedida de estudos minuciosos quanto ao impacto no meio ambiente, pois é fonte potencial de poluição do ar;

. do ponto de vista econômico-financeiro, a construção de um aterro sanitário é extremamente mais favorável,

tendo em vista os menores investimentos iniciais e custos operacionais mais baixos dada a simplicidade de operação; deve-se levar em conta ainda que a incineração exige investimentos periódicos para aumento de capacidades da instalação.

A conclusão do estudo é que o empreendimento mais interessante é a construção de aterro sanitário com aproveitamento, pela COSIPA - Companhia Siderúrgica Paulista, do GBO produzido. Desta forma, os itens seguintes dão enfoque a esse empreendimento, com os detalhamentos requeridos, da seleção das áreas necessárias aos aspectos técnicos de projeto e estudos de viabilidade econômico-financeira.

1.3 - PESQUISA E SELEÇÃO DAS ÁREAS PARA O EMPREENDIMENTO

Objetivando a escolha de áreas apropriadas à implantação de aterros sanitários com geração de gás e estações de transbordo, foram levantados vários locais na Baixada Santista e pré-selecionadas áreas potencialmente aproveitáveis para a destinação final dos resíduos.

Deste processo seletivo resultaram 4 áreas adjacentes, situadas no Sítio Areaes, que dista aproximadamente 2 km da COSIPA, para se implantar o aterro com geração de gás, e 3 áreas para se construírem estações de transbordo, a saber: Alemôa (situada no Município de Santos) para o lixo de Santos e São Vicente, Jardim Primavera, no Município de Guarujá e Vila Sônia, no Município de Praia Grande.

1.4 - TRANSPORTE DO LIXO

Como as áreas selecionadas para a construção do aterro sanitário estão próximas à COSIPA, as distâncias a serem vencidas no transporte do lixo coletado na Baixada Santista são consideráveis, além do que, o transporte terá que

ser efetuado por vias de difícil e intenso trânsito.

Tais fatos exigirão dos veículos de coleta de lixo um tempo maior de transporte, ociosidade da mão-de-obra e do próprio equipamento. Conseqüentemente, todo o sistema de coleta e transporte será onerado, com custos operacionais e investimentos maiores.

Objetivando reduzir os custos de operação do sistema de coleta, com sensíveis reduções no consumo de combustível, partiu-se para o estudo de implantação de estações de transbordo rodoviário para processar conjuntamente os lixos de Santos e São Vicente e, em separado, o lixo coletado no Guarujá e na Praia Grande.

Foram também tecidas algumas considerações a respeito do transporte por vias hídrica e ferroviária, porém, dada a complexidade deste assunto e ao tempo relativamente curto destinado à execução deste trabalho, estas alternativas de solução não foram detalhadas, mas deverão merecer posteriormente estudos mais completos.

1.5 - ESTUDOS DE VIABILIDADE TÉCNICA

A tecnologia adotada neste estudo para a construção do aterro sanitário com aproveitamento do GBQ consiste nos seguintes pontos:

- Construção de células de lixo com 5 metros de espessura e cobertura mínima com argila de 15 a 30 centímetros;
- Drenagem dos gases através de sistemas combinados de drenos verticais e horizontais. Os drenos verticais deverão ser feitos com tubos de concreto, envoltos com anéis de pedra britada, e os drenos horizontais construídos com tubulações ranhuradas, protegidas por brita revestida com geo-membranas-sintéticas;

- Drenagem de águas superficiais e posterior captação dos líquidos percolados através de drenos localizados na parte inferior do aterro, que os conduzirão ao sistema de tratamento;

- Sistema de tratamento dos líquidos percolados constituído de lagoas de estabilização em série, anaeróbias, facultativas e de maturação;

- Recirculação dos percolados para o interior da massa de lixo. Neste novo trajeto, os líquidos percolados atuarão como ativadores dos fenômenos bioquímicos produtores de gás;

- Construção, na parte superior final do aterro, de drenos contínuos de pedra britada com 15 centímetros de espessura. Sobre a camada de brita deverão ser colocadas geomembranas sintéticas para proteção dos filmes plásticos dispostos a seguir;

- A capa final do aterro deverá ser construída com uma camada de 1 metro de argila, sobre a qual deverá ser aplicada hidro-semeadura de grama para evitar erosão, e implantado eficiente sistema de coleta de águas pluviais;

- O GBQ captado no interior do aterro deverá ser conduzido através de rede especial e por sistema de compressão a gasômetros da COSIPA.

1.6 - IMPACTO AMBIENTAL

Como a destinação final dos resíduos sólidos urbanos constitui numa atividade potencialmente poluidora, elegu-se o aterro sanitário como a forma mais econômica de disposição que apresenta benefícios sob o ponto de vista de preservação do meio ambiente e da saúde humana.

Assim, o projeto do aterro sanitário foi concebido de modo que:

- o gás gerado, constituído principalmente de metano e dióxido de carbono, seja captado e aproveitado apresentando-se como alternativa não poluente, e que venha substituir o óleo BPF;

- toda a água de superfície seja drenada e os líquidos percolados sejam tratados em lagoas especiais para, posteriormente, serem reciclados no próprio aterro, eliminando-se totalmente a poluição das águas de superfície e parcialmente a das águas de sub-solo;

- o lixo da Baixada Santista possa ter um destino disciplinado, eliminando-se assim os vazadouros existentes nos municípios e as dezenas de pequenas descargas a céu aberto que estão a criar sérios problemas de poluição do solo com reflexos no ar (fumaça) e na água (líquidos percolados e sólidos suspensos).

1.7 - INVESTIMENTOS NECESSÁRIOS - CUSTOS OPERACIONAIS

No estudo de viabilidade econômico-financeira do empreendimento foram estimados os seguintes investimentos:

a. Terreno	Cr\$ 899 milhões
b. Construção do aterro sanitário	Cr\$ 93 milhões
c. Construção do gasoduto	Cr\$ 72 milhões
d. Estudos e projetos	Cr\$ 15 milhões
e. Estações de transbordo	Cr\$ 486 milhões
Perfazendo um total de	Cr\$ 1 656 milhões

Os custos operacionais do empreendimento incluíram os custos de:

a. Operação do aterro	Cr\$ 1 855 milhões
b. Estação de transbordo e	

transporte Cr\$ 926 milhões
Perfazendo um total de Cr\$ 2 781 milhões

Salienta-se que todos os valores em cruzeiros são referentes aos preços constantes de outubro de 1980.

Assim, o total previsto para investimentos e custos operacionais do empreendimento é de Cr\$ 4 346 milhões distribuídos até o ano 2000.

1.8 - RECEITAS

As receitas provenientes da utilização do GBQ produzido no aterro sanitário foram obtidas pelo produto das quantidades de gás e um preço unitário, que foi apropriado através de três hipóteses:

. preço corrigido do gás de nafta, vendido pela Companhia de Gás de São Paulo - COMGÁS, obtendo-se o valor de Cr\$ 10,10 por Nm³;

. preço corrigido do óleo combustível utilizado pela COSIPA, obtendo-se o valor de Cr\$ 6,38 por Nm³;

. preço corrigido do óleo combustível, acrescido de 15%, prevendo-se uma redução no seu subsídio, obtendo-se o valor de Cr\$ 7,34 por Nm³;

Os totais estimados para as receitas, até o ano 2001, são respectivamente: Cr\$ 9 964 milhões, Cr\$ 6 291 milhões e Cr\$ 7 239 milhões.

1.9 - RENTABILIDADE

Para avaliar a rentabilidade do empreendimento foi calculada a taxa de retorno real (retorno acima da inflação) do fluxo de caixa para três cenários simulados, a saber:

o CENÁRIO I, que admite a compra das áreas necessárias para o aterro, à vista, em 1981;

o CENÁRIO II, que supõe a compra do terreno à vista e em duas etapas, a primeira em 1981 e a segunda em 1997;

o CENÁRIO III, que admite que o investimento inicial (todos os desembolsos efetuados nos três primeiros anos) seja realizado através de um financiamento para pagamento em 10 anos, com 2 anos de carência, e prestações iguais (Tabela Price) com juros de 8% ao ano, mais correção monetária plena e compra das áreas em duas etapas (em 1981 e 1997).

Quanto à extensão dos investimentos, foram consideradas três hipóteses:

- . todo o empreendimento a cargo da COSIPA;
- . todo o empreendimento a cargo da COSIPA, excetuando-se os investimentos nas instalações de transbordo, que estariam a cargo das prefeituras;
- . a cargo da COSIPA somente a parte relativa a investimentos e operação do aterro sanitário, incluindo sistema de transporte do gás, estando os demais itens a cargo das prefeituras.

A combinação desses três cenários com as três hipóteses acima e as três hipóteses de receitas culminaram com 27 alternativas, que apresentaram taxas de retorno como se gue:

- . para o CENÁRIO I, taxas variando de 6,2 a 17,8% a.a;
- . para o CENÁRIO II, taxas variando de 7,7 a 22,3% a.a;
- . para o CENÁRIO III, taxas variando de 10,0 a 44,6% a.a.

Uma das alternativas que previa financiamento não foi considerada por apresentar grau de alavancagem negativo.

Desta forma, tem-se 26 alternativas viáveis.

1.10 - LINHAS POTENCIAIS DE FINANCIAMENTO

Este estudo apresenta, em essência, uma linha básica de financiamento de grande interesse, que é o enfoque de substituição das fontes de energia, e se enquadra perfeitamente dentro dos objetivos e condições do Programa de Mobilização Energética gerido pelo Ministério das Minas e Energia - MME.

Entretanto, para o ano de 1981 os recursos desse programa estão com a sua destinação definida e, desta forma, sugere-se que o projeto final do empreendimento seja encaminhado, o mais breve possível, à Companhia Auxiliar das Empresas Elétricas Brasileiras - CAEEB, agente do programa, para uma vez aprovado, poder dispor dos recursos que serão alocados a esse programa em 1982.

As condições gerais desta fonte de financiamento são: seis anos de prazo, com carência de um ano e taxa de juros de 8% ao ano.

Por outro lado, o projeto poderá interessar em todas as suas fases, à Financiadora de Estudos e Projetos - FINEP, que possui linhas de financiamento de acordo com as seguintes condições: carência até 2 anos, amortização em 3 anos, taxa de juros de 7% ao ano e correção monetária de 60 a 100% da correção plena.

CETESB - CIA. DE TECNOLOGIA E SANEAMENTO AMBIENTAL
BIBLIOTECA

2 - CONCLUSÕES

O presente estudo concluiu que o empreendimento selecionado, ou seja, o uso de GBQ pela COSIPA é rentável, pois na análise econômico-financeira mais pessimista realizada para o cenário I, considerando todo o empreendimento a cargo da COSIPA e a receita valorizada tendo por base o preço do óleo combustível (out. 79), a taxa de retorno obtida é de 6,2%.

Além disso, o empreendimento em questão apresenta outros benefícios, a seguir enumerados:

- Economia de óleo combustível para o País;
- Garantia do suprimento de combustível fluido para a COSIPA;
- Solução de problemas sanitários para as populações locais;
- Preservação da ecologia dos mangues da Baixada Santista;
- Imagem da COSIPA como cooperadora na substituição de vetores energéticos escassos e na preservação do meio ambiente.

Ressalte-se que os estudos ora efetuados basearam-se numa linha conservadora de ação, pois:

- A quantidade de GBQ produzida por tonelada de lixo foi avaliada tendo-se por base índices obtidos com lixos de menor potencial de geração de gás;
- Não se considerou o valor residual dos terrenos ao fim do empreendimento quando se efetuaram os cálculos econômicos e note-se que o preço de aquisição desses terrenos representa cerca de 54% do total de investimentos;
- Truncou-se o horizonte de estudo no ano 2001, não se

levando em conta os benefícios posteriores a essa data.

Entretanto, à vista do exposto, para que o empreendimento seja exequível há que se considerar uma taxa mínima atraente para a COSIPA.

Essa taxa provavelmente será superior às taxas habituais estabelecidas para os projetos desenvolvidos pela COSIPA e que não envolvam incertezas e riscos como o presente projeto, pioneiro no Brasil.

Salienta-se ainda que os projetos de recuperação de lixo têm feito sonhar as prefeituras com possibilidades de receita. A frase "lixo é ouro" reflete a ambição de transformar a limpeza pública em atividade lucrativa. Nada mais enganoso. Para motivar o desenvolvimento do estudo ora apresentado, o empreendimento deverá ter um retorno atraente.

Portanto, é recomendável o engajamento e a ccoperação das prefeituras que deverão arcar com parte dos investimentos e custos operacionais para sentirem o benefício que a participação da COSIPA lhes traz.

3 - QUANTIDADES DE LIXO ENERGETICAMENTE APROVEITÁVEL NA BAIXA
DA SANTISTA

3 - QUANTIDADES DE LIXO ENERGETICAMENTE APROVEITÁVEL NA BAIXA DA SANTISTA

No presente estudo, considerou-se que todo o lixo coleta do nos municípios de Santos, São Vicente, Cubatão, Guarujá e Praia Grande é passível de ser incinerado para recuperação de energia sob a forma de vapor de água ou ser disposto em aterros sanitários construídos com a finalidade de recuperar o gás gerado bioquimicamente (GBQ) nos mesmos.

A escolha de tais municípios é justificada pelas seguintes razões:

. a localização do empreendimento preconizado deverá ser próxima ao polo consumidor de vapor ou GBQ, isto é, as indústrias localizadas no eixo da Rodovia Cubatão-Piaçaguera;

. as quantidades de resíduos coletados nesses municípios são de tal ordem que justificam o seu aproveitamento energético.

Os resíduos sólidos a serem aproveitados são basicamente os resíduos urbanos, tais como: lixo proveniente da coleta regular (domiciliar e comercial); lixo recolhido pelos serviços de varrição, limpeza de praias, capinação, raspagem e outros similares, e, ainda, resíduos gerados em caixas de gordura e em outros componentes do sistema de esgotos.

3.1 - QUANTIDADES ATUAIS DE LIXO COLETADO

a) Município de Santos

Para efeito deste trabalho, os resíduos sólidos de Santos foram divididos em 4 grupos:

Grupo I : resíduos provenientes da coleta regular;

Grupo II : resíduos provenientes dos seguintes serviços: varrição, capinação e raspagem, limpeza de locais onde se realizam feiras-livres, limpeza de praias, coleta de lixo nos morros, capinação e limpeza de valas, limpeza de canais e outros;

Grupo III: resíduos provenientes de alguns componentes do sistema de esgotos de Santos e São Vicente;

Grupo IV : resíduos de caixas de gordura.

As quantidades de resíduos do Grupo I estão indicadas na tabela nº 3.1.1.

As quantidades mensais dos resíduos do Grupo II estão indicadas na tabela nº 3.1.2.

Os resíduos sólidos e semi-sólidos do Grupo III apresentam, em média, as seguintes quantidades:

- Estação de Pré-condicionamento

Resíduos sólidos = $2.277 \frac{t}{ano}$ = $3.167 \frac{m^3}{ano}$

Resíduos semi-sólidos = $1.123 \frac{t}{ano}$ = $936 \frac{m^3}{ano}$

- Estações de Bombeamento de Esgoto - Tomé de Souza

TABELA Nº 3.1.1
MÉDIAS DIÁRIAS DAS QUANTIDADES DO LIXO DOMICILIAR
COLETADO EM SANTOS MENSALMENTE (t/dia)

Mês \ Ano	1977	1978	1979	1980
Janeiro	345,1	356,8	362,5	363,9
Fevereiro	318,7	328,5	346,4	356,8
Março	275,3	316,8	316,7	341,9
Abril	296,2	301,7	328,8	329,2
Maio	275,3	296,9	351,0	319,3
Junho	286,1	277,0	304,7	322,8
Julho	282,2	306,6	307,4	301,4
Agosto	281,2	285,5	301,7	310,2
Setembro	288,2	300,6	313,4	-
Outubro	300,0	305,0	321,6	-
Novembro	324,6	339,4	350,4	-
Dezembro	324,1	335,7	383,9	-
MÉDIA	299,7	312,5	332,4	

Fonte: PRODESAN - Relatórios Mensais

TABELA Nº 3.1.2
QUANTIDADES MÉDIAS DE RESÍDUOS PROVENIENTES DE VARRIÇÃO, CAPINAÇÃO E OUTROS

Tipo de resíduo	Mês											
	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
de Varredura	800	800	750	750	750	750	800	750	750	750	750	800
de Capinação e Raspagem	350	350	350	350	350	350	350	350	350	350	350	350
de Feiras	1.800	1.800	1.500	1.500	1.500	1.500	1.800	1.500	1.500	1.500	1.500	1.800
de Praias	Varrição Manual	600	200	200	200	200	600	200	200	200	200	600
	Varrição Mecânica	480	480	480	480	480	480	480	480	480	480	480
de Morros	Coleta Domiciliar	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200
	Coleta c/ Caçamba	625	625	625	625	625	625	625	625	625	625	625
de Capinação e Limpeza de Valas	450	450	450	450	450	450	450	450	450	450	450	450
de Limpeza de Canais	Lixo/Mato	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	Lama/Terra	550	550	550	550	550	550	550	550	550	550	550
Outros tipos	2.125	2.125	2.125	2.125	2.125	2.125	2.125	2.125	2.125	2.125	2.125	2.125
TOTAL (m ³)	8.080	8.080	7.330	7.330	7.330	7.330	8.080	7.330	7.330	7.330	7.330	8.080
TOTAL (*) (t)	2.100	2.100	1.906	1.906	1.906	1.906	2.100	1.906	1.906	1.906	1.906	2.100

Fonte: PRODESAN

(*) adotando-se como peso específico médio - 0,26 t/m³

$$\text{Resíduos semi-sólidos} = 374 \frac{\text{t}}{\text{ano}} = 312 \frac{\text{m}^3}{\text{ano}}$$

$$\text{Resíduos semi-sólidos} = 1\,382 \frac{\text{t}}{\text{ano}} = 1\,152 \frac{\text{m}^3}{\text{ano}}$$

Resíduos sólidos	= 2 296 t/ano	= 3 193 m ³ /ano
Resíduos semi-sólidos	= <u>2 879 t/ano</u>	= <u>2 400 m³/ano</u>
	5 175 t/ano	5 593 m ³ /ano

Finalmente, a quantidade atual de resíduos do Grupo IV, conforme indicado na referência bibliográfica (1) é a seguinte:

quantidade média mensal:

- medida : $413,2 \text{ m}^3/\text{mês}$
- estimada: $399,0 \text{ m}^3/\text{mês}$

Os resíduos sólidos de São Vicente deverão ser provenientes da coleta regular e dos serviços de varrição, capinação e raspagem de vias públicas.

Tais quantidades, segundo a referência bibliográfica(1), são as seguintes:

. lixo domiciliar: - época de temporada - até 70 t/dia
- época fora de temporada - até 53 t/dia

. lixo oriundo de	- época de temporada	:	7,0 t/dia
limpeza de ruas:	- época fora de temporada:	:	5,6 t/dia
. total	:	- época de temporada	: 77 t/dia
	:	- época fora de temporada:	: 58 t/dia

As quantidades de resíduos sólidos oriundos da limpeza de praias não foram computadas.

A partir desses dados, foi montada a tabela nº 3.1.3 que indica, em média, a quantidade total mensal do lixo coletado.

c) Município de Cubatão

O lixo de Cubatão é de natureza semelhante ao de São Vicente, ou seja, resíduos provenientes da coleta regular e resíduos oriundos da limpeza de vias públicas.

Conforme a referência bibliográfica (1), a quantidade média coletada diariamente é 55,2 t/dia, o que corresponde a uma quantidade anual coletada de 20 148 t/ano.

d) Município de Guarujá

Os resíduos sólidos do município de Guarujá são provenientes da coleta regular, da varrição, da capinação de ruas e da limpeza de praias.

De acordo com a referência bibliográfica (1), as quantidades de lixo domiciliar coletado em média são:

- 80,3 toneladas diárias em época fora de temporada;
- 112,8 toneladas diárias em época de temporada.

As quantidades de resíduos provenientes dos serviços de varrição e capinação de ruas foram estimadas a partir dos valores médios "per capita" das quantidades de resíduos de var

CETESB - CIA. DE TECNOLOGIA E SANEAMENTO AMBIENTAL
BIBLIOTECATABELA Nº 3.1.3
QUANTIDADES MENSAIS MÉDIAS DE LIXO COLETADO
EM SÃO VICENTE (*)

Mês	Lixo coletado (t/mês)
Janeiro	2.387
Fevereiro	2.156
Março	1.800
Abril	1.740
Maio	1.800
Junho	1.740
Julho	1.800
Agosto	1.800
Setembro	1.740
Outubro	1.800
Novembro	1.740
Dezembro	2.387
TOTAL (t/ano)	22.890

Observação: (*) No ano de 1979

rição e capinação coletados em Praia Grande, que é cerca de 0,2 kg/hab.dia.

As quantidades de resíduos coletados na limpeza de praias foram estimadas com base nos índices unitários de Santos e encontram-se na tabela nº 3.1.4.

TABELA Nº 3.1.4
RESÍDUOS PROVENIENTES DA LIMPEZA DE PRAIAS DO
MUNICÍPIO DE GUARUJÁ

Época	Quantidade de Lixo Coletado por km de Praia (*) (t/dia x km de praia)	Quantidade Diária de Lixo Coletado (t/dia)
Temporada	0,60	9,6
Fora de Temporada	0,20	3,2

(*) considerando-se somente limpeza manual

Obs: Valores determinados a partir do relatório "Destinação Final dos Resíduos Sólidos na Baixada Santista" CETESB, 1979 - (1).

e) Município de Praia Grande

Os resíduos sólidos de Praia Grande são da mesma natureza que os do Guarujá, vistos anteriormente.

Conforme indicado na referência bibliográfica (1), a produção "per capita" de lixo domiciliar varia de 0,37 a 0,45 kg/hab.dia. Levantamentos posteriores realizados pela CETESB indicaram, no entanto, que este índice pode atingir cerca de 0,5 kg/hab.dia. Além disso, o nível de atendimento do serviço de coleta é atualmente de cerca de 80%. Dessa forma, para efeito deste trabalho, adotou-se como quantidade de lixo domiciliar coletado "per capita" diariamente, 0,40 kg/hab.dia.

A referência bibliográfica (1) indica que as quantidades de resíduos de varrição e capinação de ruas coletados diariamente são:

- temporada : 60 t/dia
- fora de temporada: 20 t/dia

Quanto às quantidades de resíduos provenientes da limpeza de praias, a estimativa dos seus valores foi feita de forma análoga a do item anterior, ou seja, baseada nos índices unitários de Santos. Esses valores encontram-se na tabela nº 3.1.5.

TABELA Nº 3.1.5
RESÍDUOS PROVENIENTES DA LIMPEZA DE PRAIAS DO
MUNICÍPIO DE PRAIA GRANDE

Época	Quantidade de Lixo Coletado por km de Praia (*) (t/dia x km de praia)	Quantidade Diária de Lixo Coletado (t/dia)
Temporada	2,20	38,5
Fora de Temporada	1,80	31,5

(*) considerando-se limpeza manual e mecânica

Obs: Valores determinados a partir do relatório "Destinação Final dos Resíduos Sólidos na Baixada Santista" CETESB, 1979 (1).

3.2 - MÉDIAS ANUAIS DE LIXO COLETADO

As quantidades médias estimadas de resíduos sólidos coletados em 1979 estão indicadas na tabela nº 3.2.1.

TABELA Nº 3.2.1
QUANTIDADES MÉDIAS DE LIXO COLETADO EM SANTOS, SÃO VICENTE
CUBATÃO, GUARUJÁ E PRAIA GRANDE EM 1979

Município	Lixo coletado (t/ano)	Porcentagem do total
Santos	134 200	49,0
São Vicente	22 890	8,4
Cubatão	20 150	7,4
Guarujá	53 129	19,4
Praia Grande	43 368	15,8
TOTAL	273 737	100,0

3.3 - PROJEÇÕES DAS QUANTIDADES DE LIXO COLETADO

a) Município de Santos

O fato de existirem dados de pesagens diárias do lixo domiciliar coletado no Município de Santos, desde janeiro de 1977, possibilitou que se fizesse uma análise da variação das quantidades do mesmo, ao longo do tempo.

Verificou-se que os valores médios diários das quantidades de lixo coletado mensalmente vêm aumentando com o tempo, devido, principalmente, ao aumento das populações fixa e flutuante. Esses valores, como decorrência natural do grande afluxo de pessoas à Baixada Santista em épocas de férias escolares, apresentam-se, sistematicamente, maiores nos meses de dezembro, janeiro e fevereiro e em alguns meses onde ocorrem longos feriados com bom tempo.

O estudo da variação ao longo do tempo da média mensal da quantidade de lixo coletado diariamente foi feito a partir de um modelo de regressão linear múltipla, cuja variável dependente é a referida média, e as variáveis independentes são o tempo e três variáveis do tipo "dummy"*. No modelo, as variáveis "dummy" têm a finalidade de descrever o efeito da sazonalidade existente na produção e coleta de lixo, notadamente nos meses de dezembro, janeiro e fevereiro.

Para os dados existentes, obteve-se o seguinte modelo de regressão linear múltipla:

-
- (*) variáveis do tipo "dummy" são as que podem, basicamente, assumir dois valores, usualmente os valores zero e um, sendo utilizadas, entre outras aplicações, na descrição de fenômenos pertinentes a séries temporais, tais como estações e acidentes climáticos, eventos da política econômica e eventos sociais.

$$Y = 283,7 + 1,05 t + 53,4 d_1 + 32,8 d_2 + 38,9 d_3$$

onde:

Y = média diária das quantidades de lixo domiciliar coleta
do durante o mês (t/dia)

t = tempo (mês)

mês de referência: janeiro de 1977 ($t = 1$)

d_1 = variável "dummy" que vale - 1 para o mês de janeiro
- 0 para os demais meses

d_2 = variável "dummy" que vale - 1 para o mês de fevereiro
- 0 para os demais meses

d_3 = variável "dummy" que vale - 1 para o mês de dezembro
- 0 para os demais meses

Os valores determinados a partir do modelo de regres
são linear múltipla estão indicados, em conjunto com os da
dos de pesagens, na tabela nº 3.3.1. Da observação da mesma,
verifica-se que há uma boa aderência do modelo aos dados ex
perimentais.

A partir desse modelo, foram calculadas as projeções a
té o ano 2001 das quantidades de lixo domiciliar coletado a
nualmente.

As taxas de crescimento anuais desses valores foram a
dotadas para o cálculo das projeções dos resíduos dos grupos
II, III e IV.

Na tabela nº 3.3.2 estão indicadas as projeções das
quantidades de resíduos sólidos dos quatro grupos, bem como
as referidas taxas de crescimento anuais.

TABELA Nº 3.3.1
COMPARAÇÃO ENTRE OS VALORES OBTIDOS ATRAVÉS DE PESAGENS E OS CALCULADOS
PARA O LIXO COLETADO EM SANTOS

Ano	Mês	Valor Obtido por Pesagens (t/dia)	Valor Calculado (t/dia)	Diferença	
				Absoluta (t/dia)	Relativa (%)
1977	J	345,1	338,2	6,9	2,00
	F	318,7	318,6	0,1	0,03
	M	275,3	286,9	- 11,6	- 4,21
	A	296,2	287,9	8,3	2,80
	M	275,3	289,0	- 13,7	- 4,98
	J	286,1	290,0	- 3,9	- 1,36
	J	282,1	291,1	- 9,0	- 3,19
	A	281,2	292,1	- 10,9	- 3,88
	S	288,2	293,2	- 5,0	- 1,73
	O	300,0	294,2	5,8	1,93
	N	324,6	295,3	29,4	9,06
	D	324,1	335,2	- 11,1	- 3,42
1978	J	356,8	350,8	6,1	1,71
	F	328,5	331,2	- 2,7	- 0,82
	M	316,8	299,5	17,4	5,49
	A	301,7	300,5	1,2	0,40
	M	296,9	301,6	- 4,7	- 1,58
	J	277,0	302,6	- 25,6	- 9,24
	J	306,6	303,7	3,0	0,98
	A	285,5	304,7	- 19,2	- 6,73
	S	300,6	305,8	- 5,2	- 1,73
	O	305,0	306,8	- 1,8	- 0,59
	N	339,4	307,9	31,6	9,31
	D	335,7	347,8	- 12,1	- 3,69
1979	J	362,5	363,4	- 0,9	- 0,25
	F	346,4	343,8	2,6	0,75
	M	316,7	312,1	4,7	1,48
	A	328,8	313,1	15,7	4,77
	M	351,0	314,2	36,9	10,51
	J	304,7	315,2	- 10,5	- 3,44
	J	307,4	316,3	- 8,9	- 2,90
	A	301,7	317,3	- 15,6	- 5,17
	S	313,4	318,4	- 5,0	- 1,60
	O	321,6	319,4	2,2	0,68
	N	350,4	320,5	30,0	8,56
	D	383,9	360,4	23,5	6,12
1980	J	363,9	376,0	- 12,1	- 3,33
	F	356,8	356,4	0,4	0,11
	M	341,9	324,7	17,3	5,06
	A	329,2	325,7	3,5	1,06
	M	319,3	326,8	- 7,5	- 2,35
	J	322,8	327,8	- 5,0	- 1,55
	J	301,4	328,9	- 27,5	- 9,12
	A	310,2	329,9	- 19,7	- 6,35

TABELA Nº 3.3.2
PROJEÇÕES DAS QUANTIDADES DE LIXO COLETADO EM SANTOS (t/ano)

Resíduos Sólidos Ano	de Varrição de Ruas, de Praias, de Capinação etc.	Domiciliar	de Caixas de Gordura	de Componentes do Sistema de Esgotos	Total	Taxa de Crescimento Anual (%)
1981	24 311	130 534	5 970	5 348	166 363	-
1982	25 374	135 133	6 180	5 536	172 223	3,52
1983	26 124	137 631	6 290	5 722	178 078	3,40
1984	27 100	144 331	6 600	5 913	183 944	3,29
1985	27 965	148 929	6 810	6 102	189 806	3,19
1986	28 829	153 528	7 021	6 290	195 668	3,09
1987	29 684	158 127	7 232	6 479	201 532	3,00
1988	30 558	162 726	7 442	6 668	207 394	2,91
1989	31 394	167 325	7 652	6 856	213 227	2,81
1990	32 287	171 924	7 863	7 045	219 119	2,76
1991	33 152	176 523	8 074	7 234	224 983	2,68
1992	34 018	181 125	8 284	7 422	230 849	2,61
1993	34 882	185 721	9 495	7 610	237 708	2,54
1994	35 747	190 320	8 706	7 799	242 572	2,48
1995	36 612	194 919	8 916	7 988	248 435	2,42
1996	37 476	199 518	9 127	8 176	254 297	2,36
1997	38 342	204 117	9 337	8 366	260 162	2,31
1998	39 208	208 726	9 548	8 555	266 037	2,26
1999	40 071	213 315	9 758	8 743	271 887	2,20
2000	40 923	217 862	9 967	8 930	277 682	2,13
2001	41 779	222 463	10 174	9 115	283 531	2,11
TOTAL	696 046	3 704 797	170 446	151 897	4 725 497	-

b) Município de São Vicente

As quantidades esperadas de resíduos sólidos até o ano 2001, foram determinadas a partir das quantidades atuais de lixo coletado, admitindo-se um crescimento anual semelhante ao do Município de Santos. Tais valores encontram-se na tabela nº 3.3.3.

c) Município de Cubatão

Para o cálculo das quantidades esperadas de resíduos sólidos coletados até o ano 2001 partiu-se das quantidades atuais e admitiu-se que o seu crescimento anual seja idêntico ao da população urbana do município e que o nível de atendimento do serviço de coleta de lixo permaneça constante ao longo do período de análise. As projeções da população urbana do Município de Cubatão são mostradas na tabela nº 3.3.4. As taxas de crescimento anuais, assim como as quantidades esperadas de lixo coletado encontram-se na tabela nº 3.3.5.

d) Município de Guarujá

As projeções das quantidades de resíduos sólidos coletados em Guarujá foram calculadas considerando-se:

- para os resíduos domiciliares e os provenientes da limpeza de praias, as quantidades atuais, admitindo-se crescimentos idênticos aos adotados para Santos;
- para os resíduos provenientes da varrição e da capinação, a quantidade coletada "per capita" e as projeções de população calculadas pela SERETE (2), apresentadas na tabela nº 3.3.6.

Essas projeções estão indicadas na tabela nº 3.3.7.

TABELA Nº 3.3.3
PROJEÇÃO DA QUANTIDADE DE LIXO COLETADO NO
MUNICÍPIO DE SÃO VICENTE

Ano	Quantidade de Lixo Coletado (t/ano)	Taxa de Crescimento (%)
1981	24 658	-
1982	25 526	3,52
1983	26 394	3,40
1984	27 263	3,29
1985	28 132	3,19
1986	29 002	3,09
1987	29 872	3,00
1988	30 741	2,91
1989	31 611	2,81
1990	32 480	2,76
1991	33 351	2,68
1992	34 221	2,61
1993	35 090	2,54
1994	35 960	2,48
1995	36 831	2,42
1996	37 700	2,36
1997	38 571	2,31
1998	39 442	2,26
1999	40 310	2,20
2000	41 178	2,13
2001	42 029	2,11
TOTAL	700 362	-

CETESB - CIA. DE TECNOLOGIA E SANEAMENTO AMBIENTAL
 BIBLIOTECA

TABELA Nº 3.3.4
 PROJEÇÃO DA POPULAÇÃO URBANA DO MUNICÍPIO DE CUBATÃO

Ano	População (hab.)	Taxa de crescimento (%)
1980	80.438	-
1981	85 831	6,705
1982	91 412	6,502
1983	97 182	6,312
1984	103 136	6,127
1985	109 274	5,951
1986	115 591	5,781
1987	122 088	5,621
1988	128 763	5,467
1989	135 612	5,319
1990	142 635	5,179
1991	150 010	5,170
1992	157 633	5,082
1993	165 501	4,991
1994	173 618	4,905
1995	181 992	4,823
1996	190 627	4,745
1997	199 531	4,671
1998	208 712	4,601
1999	218 175	4,534
2000	227 925	4,469
2001	237 972	4,408

Obs: Os valores até 1990 foram transcritos das "Projeções Demográficas do Estado de São Paulo", CESP/1976; os valores de 1990 a 2001 foram extrapolados a partir dos anteriores, admitindo-se a mesma curva de crescimento.

TABELA Nº 3.3.5
PROJEÇÃO DA QUANTIDADE DE LIXO COLETADO NO
MUNICÍPIO DE CUBATÃO

Ano	Quantidade de Lixo Coletado (t/ano)	Taxa de Crescimento (%)
1981	21 499	-
1982	22 940	6,502
1983	24 388	6,312
1984	25 883	6,127
1985	27 423	5,951
1986	29 008	5,781
1987	30 609	5,621
1988	32 314	5,467
1989	34 033	5,319
1990	35 795	5,179
1991	37 646	5,170
1992	39 559	5,082
1993	41 533	4,991
1994	43 570	4,905
1995	45 672	4,823
1996	47 839	4,745
1997	50 073	4,671
1998	52 377	4,601
1999	54 752	4,534
2000	57 199	4,469
2001	59 720	4,408
TOTAL	813 832	-

TABELA Nº 3.3.6
PROJEÇÃO DA POPULAÇÃO DO MUNICÍPIO DE GUARUJÁ

Ano	População Flutuante (hab.)	População Fixa (hab.)
1981	181 890	144 315
1982	190 835	157 955
1983	199 572	171 415
1984	208 006	184 580
1985	216 037	197 295
1986	223 630	209 410
1987	230 830	220 730
1988	237 002	231 275
1989	243 718	240 900
1990	249 491	249 600
1991	254 774	257 435
1992	259 667	264 310
1993	264 128	270 330
1994	268 188	275 535
1995	271 881	279 970
1996	275 157	283 775
1997	278 215	286 810
1998	281 004	289 215
1999	283 470	291 130
2000	285 746	292 486
2001	288 050	293 848

Fonte: SERETE S.A. Engenharia, Sistema de Esgotos Sanitários da Ilha de Santo Amaro, 1977 (2).

TABELA Nº 3.3.7
 PROJEÇÃO DA QUANTIDADE DE LIXO COLETADO NO
 MUNICÍPIO DE GUARUJÁ

Ano	Quantidade de Lixo Coletado (t/ano)		
	Domiciliar	Varrição, Capinação e Limp. Praias	Total
1981	34 449	21 040	55 489
1982	35 662	22 169	57 831
1983	36 874	23 275	60 149
1984	38 087	24 349	62 436
1985	39 302	25 376	64 678
1986	40 517	26 355	66 872
1987	41 732	27 283	69 015
1988	42 947	28 111	71 058
1989	44 162	28 954	73 116
1990	45 376	29 704	75 080
1991	46 592	30 393	76 985
1992	47 809	31 028	78 837
1993	49 023	31 609	80 632
1994	50 239	32 138	82 377
1995	51 455	32 620	84 075
1996	52 669	33 052	85 721
1997	53 885	33 451	87 336
1998	55 103	33 813	88 916
1999	56 316	34 136	90 452
2000	57 521	34 430	91 951
2001	58 717	34 725	93 442
TOTAL	978 437	618 011	1 596 448

e) Município de Praia Grande

As projeções das quantidades de resíduos sólidos coletados na Praia Grande foram calculadas considerando-se:

- para os resíduos domiciliares, a quantidade coletada "per capita" e as projeções de população feitas pela SERETE (3), apresentadas na tabela nº 3.3.8;
- para os resíduos provenientes de varrição, capinação e da limpeza de praias, as quantidades atuais, admitindo-se crescimentos idênticos aos adotados para Santos.

Essas projeções estão indicadas na tabela nº 3.3.9.

Observação: O tempo de permanência da população flutuante, adotado nos cálculos, foi de 3 meses ao ano.

TABELA Nº 3.3.8
PROJEÇÃO DA POPULAÇÃO DO MUNICÍPIO DE PRAIA GRANDE

Ano	População Flutuante (hab.)	População Fixa (hab.)
1980	343 921	57 320
1981	367 286	61 134
1982	391 478	65 166
1983	415 447	69 241
1984	438 796	73 133
1985	463 660	77 277
1986	488 740	81 457
1987	514 064	85 677
1988	538 046	89 674
1989	563 764	93 961
1990	589 704	98 284
1991	614 134	102 356
1992	640 465	106 744
1993	666 978	111 163
1994	691 862	115 310
1995	718 767	119 794
1996	745 875	124 312
1997	773 200	128 867
1998	798 646	113 108
1999	826 316	137 719
2000	854 208	142 368
2001	880 054	146 676

Fonte: SERETE S.A. Engenharia, Plano Diretor de Abastecimen
to de Água da Região Santos-Peruíbe, 1978(3).

TABELA Nº 3.3.9
PROJEÇÃO DA QUANTIDADE DE LIXO COLETADO NO
MUNICÍPIO DE PRAIA GRANDE

Ano	Quantidade de Lixo Coletado (t/ano)		
	Domiciliar	Varrição, Capinação Limp. Praias	Total
1981	20 844	25 071	45 915
1982	22 217	26 338	48 555
1983	23 588	27 605	51 193
1984	24 914	28 843	53 757
1985	26 325	30 132	56 457
1986	27 750	31 430	59 180
1987	29 187	32 736	61 923
1988	30 549	33 996	64 545
1989	32 009	35 316	67 325
1990	33 485	36 642	70 127
1991	34 869	37 918	72 787
1992	36 364	39 258	75 622
1993	37 870	40 604	78 474
1994	39 282	41 896	81 178
1995	40 810	43 255	84 065
1996	42 349	44 622	86 971
1997	43 901	45 996	89 897
1998	45 346	47 307	92 653
1999	46 916	48 692	95 608
2000	48 500	50 082	98 582
2001	49 968	51 398	101 166
TOTAL	737 043	799 137	1 536 180

3.4 - PROJEÇÕES DAS QUANTIDADES DE LIXO ENERGETICAMENTE APROVEITÁVEL

As quantidades estimadas, até o ano 2001, de resíduos sólidos coletados nos municípios em estudo, estão indicadas na tabela nº 3.4.1.

No caso de se optar pela recuperação do GBQ em aterros sanitários, todos os resíduos apresentados na tabela nº 3.4.1 deverão ser encaminhados ao aterro. Se a opção for para um incinerador de lixo, os resíduos oriundos de caixas de gorduras e de componentes do sistema de esgotos de Santos não poderão ser incinerados, e, portanto, as quantidades de tais tipos de resíduos deverão ser subtraídos dos totais obtidos e apresentados na tabela nº 3.4.1.

CETESB - CIA. DE TECNOLOGIA E SANEAMENTO AMBIENTAL
BIBLIOTECA

TABELA Nº 3.4.1.
PROJEÇÕES DAS QUANTIDADES DE LIXO COLETADO EM SANTOS, SÃO VICENTE, CUBATÃO, GUARUJÁ E PRAIA GRANDE (t/ano)

Munici- pio Ano	Santos	São Vicente	Cubatão	Guaruja	Praia Grande	Total
1981	166 363	24 658	21 499	55 489	45 915	313 924
1982	172 223	25 526	22 940	57 831	48 555	327 075
1983	178 078	26 394	24 388	60 149	51 193	340 202
1984	183 944	27 263	25 883	62 436	53 757	353 283
1985	189 806	28 132	27 423	64 678	56 457	366 496
1986	195 668	29 002	29 008	66 872	59 180	379 730
1987	201 532	29 872	30 609	69 015	61 923	392 951
1988	207 394	30 741	32 314	71 058	64 545	406 052
1989	213 227	31 611	34 003	73 116	67 325	419 312
1990	219 119	32 480	35 795	75 080	70 127	432 601
1991	224 983	33 351	37 646	76 985	72 787	445 752
1992	230 849	34 221	39 559	78 837	75 622	459 088
1993	237 708	35 090	41 533	80 632	78 474	473 437
1994	242 572	35 960	43 570	82 377	81 178	485 657
1995	248 435	36 831	45 672	84 075	84 065	499 078
1996	254 297	37 700	47 839	85 721	86 971	512 528
1997	260 162	38 571	50 073	87 336	89 897	526 039
1998	266 037	39 442	52 377	88 916	92 653	539 425
1999	271 887	40 310	54 752	90 452	95 608	553 009
2000	277 682	41 178	57 199	91 951	98 582	566 592
2001	283 531	42 029	59 720	93 442	101 366	580 088
TOTAL	4 725 497	700 362	813 832	1 596 448	1 536 180	9 372 319

4 - ATRIBUTOS DO LIXO COMO FONTE ENERGÉTICA

Neste estudo foram consideradas duas formas de aproveitamento de resíduos sólidos urbanos como fonte de energia, a saber:

a) Queima em incinerador, com caldeira de geração de vapor acoplada, para aproveitamento da energia contida nos gases da combustão;

b) Execução de aterro sanitário, construído especificamente para promover a formação e captação de gás combustível.

Existem ainda outros processos de aproveitamento energético do lixo, como a gaseificação, a pirólise e a pirofução, que são, porém, de tecnologia ainda em desenvolvimento e de custos muito elevados. O processo de incineração já é altamente conhecido e o de aterramento, com recuperação do gás bioquímico, é o que se apresenta dos mais interessantes, principalmente do ponto de vista econômico.

4.1 - COMBUSTÍVEL PARA CALDEIRA DE GERAÇÃO DE VAPOR DE ÁGUA

4.1.1 - FUNDAMENTOS DO PROCESSO DE INCINERAÇÃO

O processo de incineração de resíduos sólidos é amplamente conhecido, desenvolvido nestes últimos 15 a 20 anos. Porém, os problemas de meio ambiente e poluição atmosférica daí advindos são ainda um assunto importante e representam a principal preocupação de técnicos e ambientalistas. A prevenção e controle da poluição concorre com parcela importante de custo nos investimentos necessários.

De uma maneira geral, o processo de incineração de resíduos sólidos, com geração de vapor, é composto de: fosso de recebimento dos resíduos, câmara de incineração, caldeira e sistema de tratamento dos fumos.

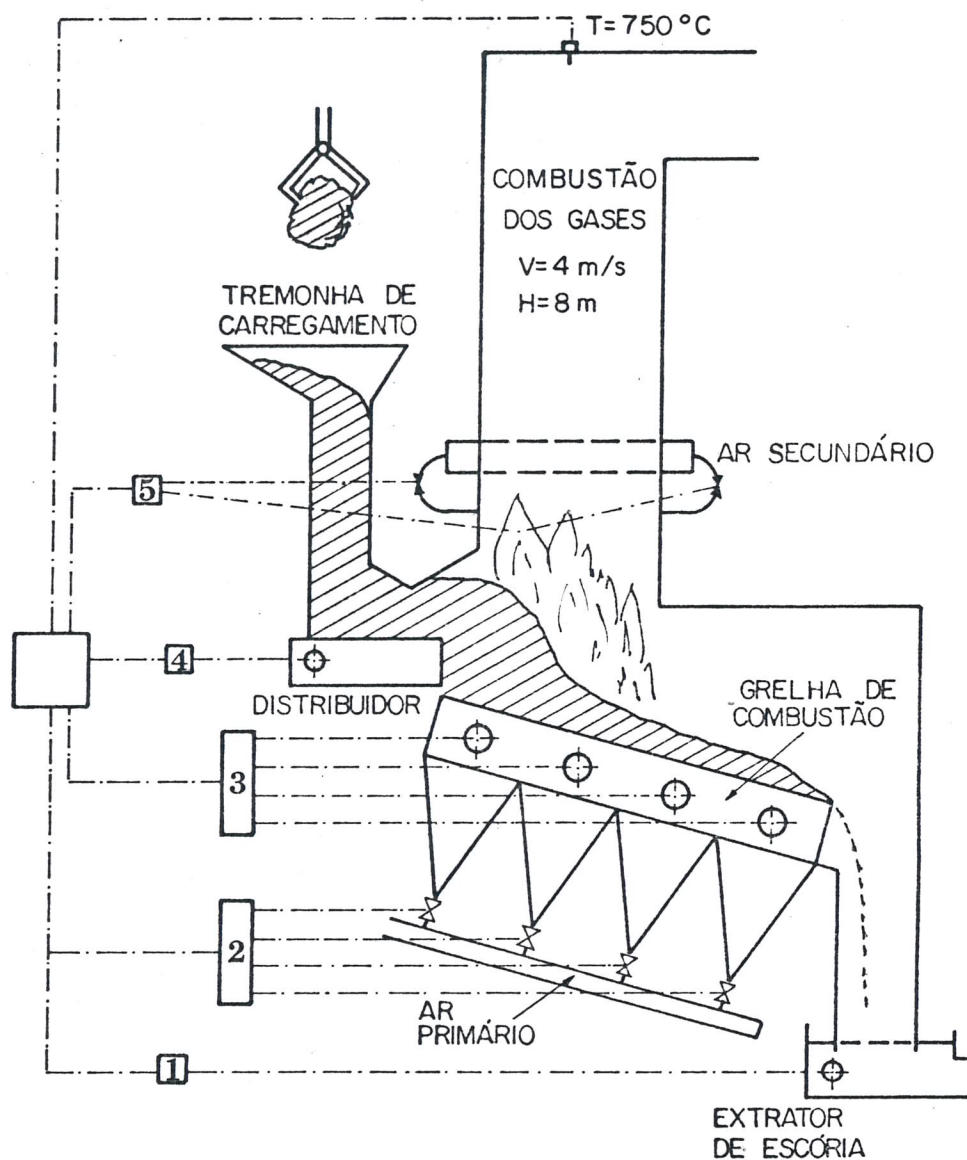
a) Fosso de recebimento de resíduos sólidos

Tem a função de armazenar o lixo e deve ter capacidade suficiente para garantir a alimentação contínua da câmara de incineração, independentemente da chegada dos veículos coletores.

b) Câmara de incineração ou fornalha

É o coração da instalação e compõe-se de: tremonha de carregamento, grelha, câmara de combustão dos gases, sistema de injeção de ar (primário e secundário) e sistema de extração das escórias e cinzas, conforme esquematizado na figura nº 4.1.1.

Atualmente, a disponibilidade da fornalha nos incineradores mais modernos está compreendida entre 7 000 e



- REGULAÇÃO AUTOMÁTICA
- 1. DÉBITO DA EXTRAÇÃO DE ESCÓRIA
 - 2. DÉBITO DO AR PRIMÁRIO
 - 3. VELOCIDADE DA GRELHA DE COMBUSTÃO
 - 4. VELOCIDADE DO DISTRIBUIDOR
 - 5. DÉBITO DO AR SECUNDÁRIO

FIG. Nº 4.1.1 - ESQUEMA DE UMA CÂMARA DE INCINERAÇÃO

7 800 horas/ano (4), principalmente devido ao emprego generalizado de aços ou ligas de cromo na construção dos elementos da grelha, principal fonte de manutenção de um incinerador. Isto fez aumentar a vida útil das grelhas, atualmente compreendida entre 4 e 10 anos, conforme o fabricante e a marcha das fornalhas.

O ar comburente é introduzido na câmara de incineração, como ar primário, em câmaras independentes sob a grelha e, como ar secundário, diretamente na câmara de combustão de gás. Esse ar é previamente pré-aquecido a 125 - 300°C para facilitar a secagem do lixo, com consequente melhora de rendimento da combustão.

Outra função importante da fornalha, além de promover a queima dos resíduos sólidos sobre a grelha, é realizar a combustão dos gases. Estes gases contêm, ao nível da camada de resíduos sólidos, produtos voláteis, tóxicos e odorantes, que devem ser tratados na câmara de combustão de gases. Este tratamento é efetuado graças a uma quantidade de ar primário em excesso suficiente e a uma vazão de ar secundário importante (25% do ar total), injetado na câmara a uma velocidade elevada para provocar uma mistura oxigênio-gás tão boa quanto possível. Esta vazão de ar secundário deve permitir também uma limitação da temperatura dos gases a 900 - 1000°C, para ser evitada a fusão das cinzas volantes.

A operação das fornalhas é um problema importante a ser tratado. Hoje em dia, o automatismo permite regular:

- . o débito de introdução dos resíduos sólidos na fornalha, agindo sobre a velocidade do distribuidor;

- . os débitos de ar primário nos compartimentos sob a grelha;

- . a qualidade e a velocidade de combustão do lixo através da regulação e da velocidade do avanço da grelha;

. a temperatura dos gases e a limitação da re messa de cinzas volantes pela ação sobre as diferentes cheça das de ar.

Apesar dessas regulagens automáticas permitirem uma marcha estável de funcionamento durante muitas horas, de vem elas ser rapidamente mudadas, de forma manual, em casos de alterações sensíveis das características dos resíduos ou de acidentes. Desta forma, é sempre necessária uma observação visual por pessoal qualificado e responsável.

c) Caldeira

O problema de valorização de energia na última década trouxe um novo enfoque e desenvolvimento no que se re fere ao interesse pelo aproveitamento energético na incinera ção de resíduos sólidos.

Diversos melhoramentos efetuados nos equipamen tos mais modernos e medidas adotadas em sua operação permiti ram um ganho em energia recuperada da ordem de 50%, passando o rendimento térmico global nas caldeiras de 50 a 75% (4), a lém de ser reduzida a corrosão dos materiais, devida princi palmente aos ataques do ácido clorídrico e sulfatos contidos nos gases da combustão e nas cinzas.

Deve-se ter em mente, no caso de medidas de ren dimento térmico, que o fluxo de calor numa caldeira diminui à medida que existe a deposição de cinzas sobre as paredes de troca de calor, que ocorre ao longo de seu funcionamento, e que, portanto, a capacidade nominal da caldeira só é atingida no início de seu funcionamento e após as paradas para limpeza.

d) Sistema de tratamento dos fumos

É um dos problemas mais importantes a ser trata do, objetivando reduzir ao máximo a poluição atmosférica.

O tratamento dos fumos da combustão consiste na captação de material particulado (poeiras), eliminação dos gases nocivos e dispersão dos fumos.

O teor em poeiras nos fumos tratados depende do rendimento do equipamento de captação e também do funcionamento das fornalhas.

Os equipamentos de captação de poeiras mais usados são do tipo multi-ciclones ou eletrofiltros, estes últimos apresentando os melhores rendimentos e que atualmente são empregados nas instalações mais modernas.

Quanto aos gases nocivos, existem em quantidades apreciáveis nos fumos, principalmente o ácido clorídrico (HCl), o anidrido sulfuroso (SO_2) e os óxidos de nitrogênio (NO_x). Somente o ácido clorídrico é encontrado em quantidade suficiente para se constituir em perigo sensível para o ambiente. Os ácidos clorídrico e sulfúrico (originário do SO_2) podem ser tratados por lavagem dos fumos da combustão ou por neutralização por via seca.

A dispersão final dos fumos é o último tratamento possível e deve ser efetuado numa zona tão grande quanto possível, para diminuir as concentrações de poeiras e gases nocivos sobre o solo. Essa dispersão é realizada pela chaminé, em função de sua altura e da velocidade de ejeção dos fumos a sua saída.

A instalação de incineração, quando bem concebida e corretamente operada, atende aos objetivos propostos, quais sejam o tratamento de resíduos sólidos e o aproveitamento da energia resultante, mas, como visto acima, é ao mesmo tempo um processo simples e delicado, tendo em vista a complexidade e a amplitude de controles requeridos nas diversas fases para evitar-se principalmente os problemas relativos à poluição do meio ambiente.

4.1.2 - CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA E PODER CALORÍFICO DO LIXO

Com o intuito de caracterizar o lixo passível de ser incinerado na Baixada Santista, apresentam-se a seguir os resultados de análises físico-químicas e de poder calorífico dos resíduos sólidos urbanos.

Esses dados foram extraídos do estudo efetuado pela CETESB, em 1979 (1). Tais análises foram efetuadas em amostragens do lixo de Santos, obtidas em diferentes circuitos de coleta de lixo domiciliar, em função da renda familiar e do tipo de zona predominante no circuito.

Os resultados são sumariados nas tabelas nº 4.1.1 e nº 4.1.2. Na tabela nº 4.1.3 é apresentada uma comparação entre os dados obtidos para Santos e outros municípios.

De acordo com as análises efetuadas, é adotado, para este trabalho, um valor médio do poder calorífico inferior (PCI) do lixo da Baixada Santista de 1 076 kcal/kg.

4.1.3 - MERCADO POTENCIAL DE VAPOR

Conforme apresentado no primeiro relatório de acompanhamento deste trabalho, para a identificação das indústrias consumidoras de vapor e que tenham possibilidade de aproveitamento de vapor de água gerado a partir da combustão de lixo, foram efetuadas entrevistas iniciais nas indústrias mais significativas dos municípios de Santos, São Vicente, Cubatão e Guarujá.

Os dados quantitativos e qualitativos sobre as condições de utilização de vapor pelas indústrias visitadas estão sumariados na tabela nº 4.1.4.

TABELA Nº 4.1.1.1
RESULTADOS DAS ANÁLISES DO LIXO DE SANTOS, POR CIRCUITO AMOSTRADO

Data da Amostragem (1979)		Denominação do Setor de Coleta Amostrado											
		S1R1	S5R4	S2R4	Radio Club	S3R1	S4R2	S2R4	S1R1	S5R4	S1R3	S4R3	Not.
Base Úmida	Parâmetro	12/3	12/3	12/3	13/3	13/3	13/3	22/3	22/3	22/3	22/3	22/3	22/3
	Umidade (%)	66,7	63,3	66,6	72,1	68,6	74,6	67,4	67,2	66,3	71,2	72,6	31,3
	Material Fixo (%)	3,1	3,3	3,2	3,5	5,0	1,5	3,1	3,2	3,6	4,4	3,3	4,8
	pH	4,6	4,5	4,8	5,1	5,3	4,5	3,7	3,5	4,2	3,6	3,7	3,6
	Sólidos Voláteis (%)	90,8	91,1	90,5	87,3	93,9	94,1	90,4	90,3	89,2	84,8	88,1	93,0
	Carbono (% de C)	44,1	43,0	45,6	42,3	47,7	44,5	43,1	44,4	44,6	42,1	43,0	45,2
	Nitrogênio (% de N)	1,6	1,3	1,5	1,3	2,1	1,5	1,1	1,4	1,9	1,5	1,8	0,6
	Hidrogênio (% de H)	6,1	6,1	6,4	5,8	6,8	6,5	6,1	6,4	6,3	6,0	5,9	6,3
	Fósforo (% de P)	0,2	0,1	0,3	0,5	0,2	0,2	0,1	0,2	0,3	0,3	0,2	0,1
	Potássio (% de K)	0,6	0,7	0,6	0,7	0,7	0,9	0,8	0,6	0,8	1,0	0,6	0,4
	Enxofre (% de S)	0,3	0,2	0,2	0,1	0,2	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1
	Relação C/N	27,6	33,1	30,4	32,5	22,7	29,7	39,2	31,7	23,5	28,1	23,9	75,3
Base Seca	Poder Calorífico Superior (kcal/kg)	4 772	4 637	4 992	4 632	5 213	4 817	4 610	4 698	4 782	4 440	4 509	5 130
	Poder Calorífico Inferior (kcal/kg)	1 120	1 242	1 205	805	1 165	719	1 028	1 069	1 148	796	742	3 205

Fonte: CETESB/1979 (1)

TABELA Nº 4.1.1.2
VALORES MÉDIOS DAS ANÁLISES DO LIXO DE SANTOS, POR TIPO DE ZONA PREDOMINANTE

Parâmetro	Características Sócio-Econômicas		Renda Familiar Menor que 6 Salários Mínimos	Renda Familiar Maior que 6 Salários Mínimos	Comercial (Coleta Noturna)	Valor Médio Ponderado
	Unidade (%)	Material Fixo (%)				
Base Úmida	Sólidos Voláteis (%)		72,6	66,5	31,3	67,4
	Carbono (% de C)		3,2	3,5	4,8	3,4
	Nitrogênio (% de N)		88,6	89,5	93,0	89,2
	Hidrogênio (% de H)		43,0	44,9	45,2	43,9
	Fósforo (% de P)		1,5	1,6	0,6	1,5
	Potássio (% de K)		6,0	6,3	6,3	6,1
	Enxofre (% de S)		0,3	0,2	0,1	0,2
	Relação C/N		0,8	0,7	0,4	0,7
	Poder Calorífico Superior (kcal/kg)		0,2	0,2	0,1	0,2
	Poder Calorífico Inferior (kcal/kg)		28,5	29,7	75,3	32,0
Base Seca			4 600	4 815	5 130	4 721
			766	1 140	3 205	1 076

Fonte: CETESB/1979 (1)

TABELA Nº 4.1.3

VALORES COMPARATIVOS DE ANÁLISES EFETUADAS PARA OS MUNICÍPIOS DE SANTOS, BELÉM, SÃO PAULO E FORTALEZA

Parâmetro	Santos	Outras Fontes			
		Belém (Ref. 1)	São Paulo (Ref. 2)	São Paulo (Ref. 3)	Fortaleza (Ref. 4)
Unidade (%)	67,4	73,6	45,9	69,1	60,2
Material Fixo (%)	3,4	4,3	12,9	3,5	-
Sólidos Voláteis (%)	89,2	83,7	76,2	88,7	76,7
Carbono (% em C)	43,9	31,7	35,1	-	-
Nitrogênio (% em N)	1,5	1,6	1,4	-	0,8
Hidrogênio (% em H)	6,1	3,6	4,0	4,0	-
Fósforo (% em P)	0,2	0,2	0,2	-	0,2
Potássio (% em K)	0,7	1,3	1,3	-	-
Enxofre (% em S)	0,2	0,2	0,2	-	0,1
Relação C/N	32,0	20,8	25,1	-	-
Poder Calorífico Superior (kcal/kg)	4 721	4 243	3 695	4 392	-
Poder Calorífico Inferior (kcal/kg)	1 076	623	1 617	867	-

Fontes: Ref. 1 - CETESB, "Plano Diretor do Sistema de Limpeza Pública da Região Metropolitana de Belém", São Paulo, 1978

Ref. 2 - SERETE S.A., "Plano Diretor para Disposição Final dos Resíduos Sólidos de São Paulo", São Paulo, 1977

Ref. 3 - CETESB, "Determinação do Poder Calorífico Inferior do Lixo Domiciliar do Município de São Paulo", relatório para a CESP, São Paulo, 1978.

Ref. 4 - Secretaria de Saúde Municipal de Fortaleza, Fund. Serv. Saúde Pública, "Plano Diretor de Limpeza Pública", Fortaleza, 1974.

TABELA Nº 4.1.4

CARACTERÍSTICAS E CONSUMO DO VAPOR UTILIZADO NAS INDÚSTRIAS
DE CUBATÃO - SANTOS - SÃO VICENTE E GUARUJÁ

CUBATÃO						
Nome da Indústria	Usa Vapor	Especificações do vapor			Consumo t/h	Combustível utilizado na geração do vapor
		Condição	Temperatura °C	Pressão kgf/cm ²		
Adubos Trevo (Granutec)	Sim	Saturado	170	8,0	1,6	Óleo BPF
Alba-Adria SA Inds.Reunidas	Sim	Saturado	181	10,5	21,0	BPF
* Carbocloro SA Inds.Químicas						
Cia.Brasileira Estireno	Sim	Saturado	188	12,3	2,7	BPF
Cia.Petroquímica Brasileira - COPEBRAS	Sim	s/inform.				BPF
Cia.Santista de Papel	Sim	sup.aquec.	250-280	10,0	16,0	BPF
Cimento Santa Rita	Sim	Saturado	181	10,5	1,0	BPF
Cia.Sid.Paulista-COSIPA	Sim	Saturado	181 214	10,5 21,0	1,0 3,0	BPF
Costa Moniz	Sim	sup.aquec.	superior a 171	7,7	1,5	BPF
Engeclor Inds Químicas	Sim	Saturado	151	5,0	0,2	Diesel
Fertilizantes União	Sim	Saturado	179	9,2	9,6	s/inform.
Gespa - Gesso Paulista S/A	Não	-	-	-	-	-
* IAP S/A Ind. Fertilizantes						

cont.

TABELA Nº 4.1.4 (Cont.)

CARACTERÍSTICAS E CONSUMO DO VAPOR UTILIZADO NAS INDÚSTRIAS
DE CUBATÃO - SANTOS - SÃO VICENTE E GUARUJÁ

Liquid Carbonic Ind. S/A.	Não	-	-	-	-	-
Liquid Química	Sim	Saturado	181 214	10,5 21,0	1,0 3,0	BPF
Manah SA Ind. e Comércio	Sim	Saturado	200	10,0	5,0	BPF
Petrocoque SA Ind. e Com.	Não	-	-	-	-	-
PETROBRÁS - Refinaria Pres. Bernardes	Sim	sup.aquec.	260 400 525	12,0 43,0 120,0	132,0 268,0 206,0	Gás e BPF
Rhodia Inds. Quim.Têxteis	Sim	Saturado	206	18,0	3,5	BPF
Ultrafêtil SA.Ind. Com. Fertilizantes FAFER	Sim	sup.aquec.	320	31,0	20,0	BPF
Ultrafêtil SA.Ind.Fert..	Sim	sup.aquec.	230 320	35,7 101,5	40-60 100	BPF
Union Carbide do Brasil SA Ind. e Com.	Sim	sup.aquec.	214 395	21,0 42,0	15,0 40,0	BPF

SANTOS

A Leonesa de Conservas SA	Sim	Saturado	140	4,0	2,0	BPF
Cervejarias Reunidas Skol-Caracú	Sim	Saturado	150	5,0	1,5	BPF
Cia. Antártica Paul.	Sim	sup.aquec.	170	7,0	2,0	BPF

TABELA Nº 4.1. (Cont.)

 CARACTERÍSTICAS E CONSUMO DO VAPOR UTILIZADO NAS INDÚSTRIAS
 DE CUBATÃO - SANTOS - SÃO VICENTE E GUARUJÁ

Cia. Usinas Nacionais	Sim	Saturado	180	10,0	8,0	BPF
Confecções Taylor S.A.	Não	-	-	-	-	-
Ind.Com.Café Floresta	Não	-	-	-	-	-
Ind.Prod.Ali ment. Dilis	Sim	sup.aquec.	200	9,0	0,2	Diesel
Mobiloil do Brasil Ind. e Comércio	Sim	Saturado	174	8,0	4,0	BPF
Moinho Fama	Não	-	-	-	-	-
Moinho Paulista Ltda.	Não	-	-	-	-	-
Pastifício Brasil Ltda	Sim	Saturado	119	3,0	0,5	BPF
Petroquímica Paulista S/A	Não	-	-	-	-	-
Reynaldo Mazzeo e Cia. Ltda.	Não	-	-	-	-	-
S/A Alcyon Ind. da Pesca	Sim	Saturado	180	10,0	0,4	Diesel

SÃO VICENTE

Cia.Vidraria Sta. Marina	Sim	sup.aquec.	300	7,0	3,0	BPF
Fertiplan SA Adubos Fert.	Sim	Saturado	180	10,0	2,0	BPF

GUARUJÁ

Dow Química	Sim	sup.aquec.	250/280	16,0	20,0	BPF
Coop. Mista Pesc.Nipobras	Não	-	-	-	-	-
SAPASA	Não	-	-	-	-	-

* não forneceu informações

Do levantamento realizado, observa-se que o maior consumo de vapor está localizado no Município de Cubatão e que, portanto, as indústrias desse município, principalmente as situadas ao longo da Rodovia Cubatão-Piaçagüera, são as potencialmente melhor indicadas para enfoque deste estudo. Tal fato faz com que se prê-estabeleça a localização do incinerador de lixo próximo às indústrias do eixo Cubatão-Piaçagüera.

4.1.4 - ESTIMATIVA DAS TAXAS DE PRODUÇÃO DE VAPOR

Trata-se de saber a quantidade de vapor passível de ser gerado por 1 tonelada de lixo. Para tanto, é necessário conhecer as condições de pressão e temperatura desse vapor. A maior parte da energia disponível nos gases de combustão do lixo será consumida para elevar a temperatura da água até a temperatura desejada e, principalmente, para vaporizá-la. O superaquecimento do vapor de água consumirá quantidades adicionais de energia.

Para se determinar as características do vapor pretendido, recorreu-se ao levantamento efetuado junto às indústrias da Baixada Santista, cujos dados encontram-se sumariados na tabela nº 4.1.4 - "Características e consumo do vapor utilizado nas indústrias de Cubatão, Santos, São Vicente e Guarujá".

Da análise dessa tabela, adotou-se as seguintes condições de vapor de água, para os cálculos necessários:

I. Vapor saturado

$$t = 180^{\circ}\text{C}$$

$$p = 10,225 \text{ kgf/cm}^2$$

II. Vapor superaquecido

$$t = 250^{\circ}\text{C}$$

$$p = 10 \text{ kgf/cm}^2$$

As estimativas foram efetuadas através das diferenças de entalpias da água nos diversos estados físicos, onde:

h_f = entalpia do líquido saturado

h_g = entalpia do vapor saturado

h = entalpia do vapor superaquecido

O calor transferido dos gases de combustão para a água (Q) é dado pelo poder calorífico inferior (PCI) e pelo rendimento térmico global do grupo fornalha-caldeira (η_G).

O PCI foi obtido através das análises efetuadas diretamente do lixo de Santos, cujos resultados constam deste relatório, e o rendimento térmico global (η_G) foi adotado conforme apresentado por Jullien (4).

Assim, tem-se:

PCI = 1 076 kcal/kg (de lixo)

η_G = 75%

Q = 1 076 x 0,75 = 807 kcal/kg (de lixo)

$h_f(25^\circ\text{C})$ = 25,0 kcal/kg (de água)

$h_g(180^\circ\text{C})$ = 663,2 kcal/kg

$h(250^\circ\text{C}, 10 \text{ kgf/cm}^2)$ = 703,1 kcal/kg

Os cálculos das taxas de produção de vapor são os que se seguem:

I. Vapor saturado (180°C)

$$\text{Taxa} = \frac{807}{663,2 - 25,0} = 1,27 \text{ kg vapor/kg lixo}$$

II. Vapor superaquecido ($250^\circ\text{C}, 10 \text{ kgf/cm}^2$)

$$\text{Taxa} = \frac{807}{703,1 - 25,0} = 1,19 \text{ kg vapor/ kg lixo}$$

Portanto, pode-se adotar, de uma maneira geral, que 1,0 t de lixo é capaz de produzir 1,2 t de vapor de água em um incinerador de resíduos sólidos com caldeira para geração de vapor.

4.1.5 - EXPECTATIVA DA PRODUÇÃO DE VAPOR

Baseado na taxa de produção de vapor estimada no item anterior (1,2 t vapor/t de lixo), pode-se estimar a quantidade potencial de vapor passível de ser gerada pelos resíduos sólidos de Santos (excluindo-se os de caixa de gordura e componentes do sistema de esgoto, conforme salientado anteriormente), São Vicente, Cubatão, Guarujá e Praia Grande. Estes resultados são apresentados na tabela nº 4.1.5.

Porém, ao contrário de um aterro sanitário, deve-se ter em mente que uma instalação de incineração tem uma capacidade definida e limitada de processamento de resíduos sólidos e, portanto, limitada também a produção de vapor.

Desta forma, para se chegar a uma condição próxima da realidade, formulou-se algumas premissas, quais sejam:

- a) Fase de implantação do sistema de 1981 a 1983;
- b) Início da operação do incinerador e aproveitamento do vapor a partir de 1984;
- c) Incinerador constituído por unidades individuais de capacidade para 300 t/dia de lixo cada uma, prevenindo a partida em 1984 para 3 unidades (capacidade de incineração total para 900 t/dia de lixo), conforme preconizado no estudo efetuado para a Baixada Santista, e apresentado no relatório "Destinação Final dos Resíduos Sólidos na Baixada Santista - Alternativas, Volume III" (1).
- d) Possibilidade de ampliação da capacidade de incineração, a cada 8 anos, com a adição de mais uma unidade

TABELA Nº 4.1.5
ESTIMATIVA DE PRODUÇÃO DE VAPOR (POTENCIAL)

Ano	Quantidade de Lixo Passível de ser Incinerado (t/ano)			Potencial de Geração de Vapor				
	de Santos, Cubatão e São Vicente	de Guarujá e Praia Grande	Total	Diário (t/dia)		Horário (t/h)		Total
				do Lixo de Santos, São Vicente e Cubatão	do Lixo de Guarujá e Praia Grande	do Lixo de Santos, São Vicente e Cubatão	do Lixo de Guarujá e Praia Grande	
1981	201 202	101 404	302 606	661,5	333,4	27,6	13,9	41,5
1982	208 973	106 386	315 359	687,0	349,8	28,6	14,6	43,2
1983	214 537	111 342	325 879	705,3	366,1	29,4	15,3	44,7
1984	224 577	116 193	340 770	738,3	382,0	30,8	15,9	46,7
1985	232 448	121 136	353 584	764,2	398,3	31,8	16,6	48,4
1986	240 367	126 052	366 419	790,2	414,4	32,9	17,3	50,2
1987	248 302	130 938	379 240	816,3	430,5	34,0	17,9	51,9
1988	256 339	135 603	391 942	842,8	445,8	35,1	18,6	53,7
1989	264 363	140 441	404 804	869,1	461,7	36,2	19,2	55,2
1990	272 486	145 207	417 693	895,8	477,4	37,3	19,9	57,2
1991	280 672	149 772	430 444	922,8	492,4	38,5	20,5	59,0
1992	288 923	154 459	443 382	949,9	507,8	39,6	21,2	60,8
1993	297 226	159 106	456 332	977,2	523,1	40,7	21,8	62,5
1994	305 597	163 555	469 152	1 004,7	537,7	41,9	22,4	64,3
1995	314 034	168 140	482 174	1 032,4	552,8	43,0	23,0	66,0
1996	322 533	172 692	495 225	1 060,4	567,8	44,2	23,7	67,9
1997	331 103	177 233	508 336	1 088,6	582,7	45,4	24,3	69,7
1998	339 753	181 569	521 322	1 117,0	596,9	46,5	24,9	71,4
1999	348 448	186 060	534 508	1 145,6	611,7	47,7	25,5	73,2
2000	357 162	190 533	547 695	1 174,2	626,4	48,9	26,1	75,0
2001	365 991	194 808	560 799	1 203,2	640,5	50,1	26,7	76,8
TOTAL	5 915 036	3 132 629	9 047 665	19 446,5	10 299,2	810,2	429,3	1 239,5

para 300 t/dia;

e) Operação anual de 7 500 h/ano (4), sendo as restantes 1 260 h/ano paradas devidas à manutenção do equipamento e incidentes.

As premissas acima foram concebidas de forma a se obter, o quanto possível, o aproveitamento do lixo como fonte energética para geração de vapor. Os resultados obtidos estão apresentados na tabela nº 4.1.6.

Desta forma, tem-se uma geração de vapor inicial da ordem de 45 t/h, durante 7 500 h/ano (313 dias/ano ou 86% do ano). Com as ampliações previstas, pode-se chegar a 75 t/h daqui a 20 anos. Essa oferta de vapor é suficiente para cobrir o consumo das indústrias de menor demanda e representa cerca de 7% do consumo atual da Refinaria Presidente Bernardes, 28% do da Ultrafêrtil e 75% do da Union Carbide, que são as indústrias que declararam maior consumo de vapor nos levantamentos efetuados.

Na tabela nº 4.1.6 foi dado destaque às quantidades de lixo excedente, isto é, o lixo produzido e não incinerado dada a falta de capacidade do incinerador ou impossibilidade pela sua consistência (resíduo pastoso de caixas de gordura). Este excedente (34% de todo o lixo) deverá ter outro tipo de destinação final, provavelmente em aterros sanitários, juntamente com as escórias do incinerador (estas também poderão servir de material de aterro de áreas baixas ou aterro de base para estrada de trânsito leve).

Desta forma, do ponto de vista de destinação final de lixo, a alternativa incinerador é incompleta, devendo ser considerada em conjunto com outras soluções.

TABELA Nº 4.1.1.6
EXPECTATIVA DA PRODUÇÃO DE VAPOR E DESTINAÇÃO ADEQUADA DE LIXO

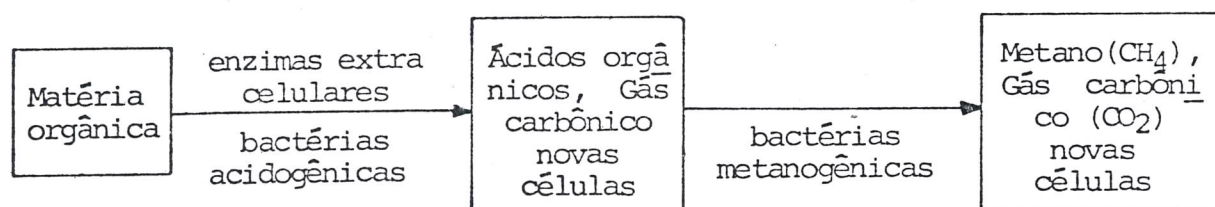
Ano	Capacidade de Incineração	Quantidade Total de Lixo Disponível		Vapor Gerado		Quantidade Total de Lixo Excedente (1)	
		t/dia	t/ano	t/h	t/dia	t/ano	t/ano
1981	0	829,1	302 606	0	0	860,1	313 924
1982		864,0	315 359	0	0	896,1	327 075
1983		892,8	325 879	0	0	925,7	337 891
1984		933,6	340 770	45,0	1 080	197,4	72 033
1985	900	968,7	353 584	45,0	1 080	233,6	85 246
1986		1 003,9	366 419	45,0	1 080	269,8	98 480
1987		1 039,0	379 240	45,0	1 080	306,0	111 701
1988		1 073,8	391 942	45,0	1 080	341,9	124 802
1989	1 200	1 109,1	404 804	45,0	1 080	378,3	138 062
1990		1 144,4	417 693	45,0	1 080	414,7	151 351
1991		1 179,3	430 444	45,0	1 080	450,7	164 502
1992		1 214,8	443 382	60,0	1 440	230,4	84 088
1993	1 500	1 250,2	456 332	60,0	1 440	269,7	98 437
1994		1 285,4	469 152	60,0	1 440	303,2	110 657
1995		1 321,0	482 174	60,0	1 440	339,9	124 078
1996		1 356,8	495 225	60,0	1 440	376,8	137 528
1997	1 500	1 392,7	508 336	60,0	1 440	413,8	151 039
1998		1 428,3	521 322	60,0	1 440	450,5	164 425
1999		1 464,4	534 508	60,0	1 440	487,7	178 009
2000		1 500,5	547 695	75,0	1 800	268,1	97 842
2001		1 536,4	560 799	75,0	1 800	305,0	111 338
TOTAL	- (2)	9 047 665	9 047 665	7 425 000	7 425 000	3 182 508	3 182 508

Obs: (1) Nas quantidades de lixo excedente foram incluídos aqueles resíduos oriundos de caixas de gordura e de componentes do sistema de esgoto de Santos
(2) Total de lixo incinerado = 9 370 008 - 3 182 508 = 6 187 500 t

4.2 - FONTE POTENCIAL DE GERAÇÃO DE GÁS COMBUSTÍVEL

4.2.1 - FUNDAMENTOS BÁSICOS DA DIGESTÃO ANAERÓBIA

O tratamento biológico anaeróbio é um processo em que a matéria orgânica complexa é convertida em metano e gás carbônico. Esta conversão se efetua em dois estágios consecutivos, como mostra o esquema a seguir:



No primeiro estágio, os compostos orgânicos complexos, tais como gorduras, proteínas e carboidratos são convertidos em matéria orgânica mais simples (principalmente ácidos orgânicos de cadeia curta, como o acético, o propiônico e o butírico); ocorrendo ainda a formação de gases (principalmente o gás carbônico) e uma pequena quantidade de novas células. Esta degradação é realizada pelas bactérias acidogênicas que podem ser aeróbias ou facultativas, auxiliadas por enzimas extracelulares.

No segundo estágio ocorre a estabilização da matéria orgânica, onde certas espécies de bactérias metanogênicas, estritamente anaeróbias, utilizam os ácidos voláteis formados no primeiro estágio para a formação de gás metano (CH_4) e gás carbônico (CO_2), enquanto outras espécies utilizam o gás carbônico formado como receptor de hidrogênio, removido enzimaticamente dos compostos orgânicos, para formar gás metano e água.

Em qualquer das fases do processo anaeróbio, a produção de novas células ocorre em quantidades menores quando comparado ao que ocorre nos processos aeróbios.

Os dois grupos de bactérias responsáveis pelo processo têm condições ótimas de crescimento bastante distintas, sendo as metanogênicas de crescimento mais lento e mais sensíveis a variações nas condições do processo. Desta forma, nos processos convencionais, em que as duas etapas são realizadas no mesmo ambiente físico, o passo limitante do processo é a formação de gás metano.

As condições ótimas de reprodução das bactérias metanogênicas são: temperatura de 27 a 37°C (faixa mesofílica) ou de 55 a 60°C (faixa termofílica), pH próximo a 7,0, ocorrência de nutrientes em quantidades suficientes, ausência de oxigênio molecular, ausência de substâncias tóxicas, tempo de detenção de 10 a 30 dias e boas condições de homogeneização.

Na faixa termofílica, o processo ocorre mais rapidamente, porém isto pode não compensar o dispêndio extra de energia para o aquecimento.

Os dois estágios descritos podem também ser realizados em digestores separados, sendo que, neste caso, o digestor para a obtenção dos ácidos deve operar nas condições ótimas de reprodução das bactérias acidogênicas, diversas daquelas descritas para as metanogênicas. O pH ótimo para as acidogênicas é de cerca de 5,5, enquanto o tempo de detenção é de 1 a 2 dias.

4.2.2 - COMPOSIÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS DISPOSTOS EM ATERROS SANITÁRIOS

A produção dos gases em aterros sanitários vai depender das características dos resíduos a serem aterrados. Para efeito de comparação dos resultados obtidos em diversos

experimentos, é apresentada na tabela nº 4.2.1 a composição porcentual de lixo encontrada por diversos pesquisadores e na tabela nº 4.2.2 e nº 4.2.3 apresentam-se os resultados de análises do lixo de Curitiba, Santos e São Paulo efetuadas pela CETESB.

4.2.3 - COMPOSIÇÃO E PODER CALORÍFICO DOS GASES DE A TERROS SANITÁRIOS

Dado o grande número de fatores intervenientes na geração do GBQ, é de se esperar que este apresente uma grande variabilidade na sua composição e no seu poder calorífico. Assim sendo, a tabela nº 4.2.4 mostra as composições de GBQ e a tabela nº 4.2.5 o poder calorífico superior, segundo os dados encontrados nos aterros estudados.

Como se observa da tabela nº 4.2.5, para o aterro de lixo do Município de São Paulo (Raposo Tavares, km 14,5) encontram-se valores do poder calorífico superior (PCS) do GBQ de 5 810 e 6 300 kcal/Nm³*.

Para efeito deste trabalho, no que se refere aos cálculos preliminares necessários, será adotado o valor do PCS de 5 800 kcal/Nm³, o que equivale a uma concentração de metano no GBQ da ordem de 61%, em volume. A partir destes dados, pode-se avaliar o poder calorífico inferior des contando-se do PCS o valor referente ao calor perdido na vaporização da água formada na reação do hidrogênio contido no gás com o oxigênio introduzido no processo de combustão. Desta forma, pode-se estimar para o GBQ um PCI da ordem de 5 200 kcal/Nm³. (PCI)

(*) Nm³ - Refere-se ao volume de gás (m³) medido em condições padronizadas de pressão (p = 760 mm Hg) e temperatura (0°C).

TABELA Nº 4.2.1
COMPOSIÇÃO DO LIXO ENCONTRADA POR DIVERSOS PESQUISADORES

Autor (Referência)	Merz (5)	Merz (6)	Ramas wany (7)	Rovers & Farquhar (8)	Walle & Chian (9)	U.S. EPA (10)	Farquhar & Rovers (11)	Funjaroli & Steirer (12)
Variáveis								
Densidade seca (kg/m ³)	188,0	251,0	-	156,0	-	-	-	-
Umidade (% peso seco)	70,0	49,5	41,0	98,0	-	-	-	-
Madeira (%)	-	-	2,5	5,9	1,8	2,1	1,1	2,23
Pano (%)	-	-	-	3,8	0,7	0,7	1,6	0,76
Ciscos (%)	-	5,0	-	13,5	14,9	8,3	7,2	1,53
Gramma/Folhas (%)	38,0	38,0	5,0	-	3,1	6,9	13,8	4,59
Metal (%)	-	7,0	-	7,9	14,7	22,2	13,4	6,86
Papel (%)	57,0	43,0	50,0	25,9	36,5	48,6	46,2	53,46
Plástico (%)	-	3,0	-	4,5	2,8	2,8	3,9	1,14
Alimentos (%)	5,0	?	25,0	31,6	14,4	11,1	15,3	8,40
Vidro (%)	-	5,0	-	6,9	6,8	8,3	10,1	7,73
Outros (%)	-	-	-	-	-	-	-	11,33

TABELA Nº 4.2.2
COMPOSIÇÃO DO LIXO COLETADO NOS MUNICÍPIOS
DE SANTOS E CURITIBA

Município	Santos	Curitiba
Variáveis	(*)	(**)
Umidade (%)	67,40	58,89
Papel (%)	17,17	22,12
Papelão (%)	2,89	1,92
Madeira (%)	3,46	1,15
Panos e Trapos (%)	2,57	2,50
Couro (%)	1,02	0,25
Borracha (%)	-	1,03
Plástico Duro (%)	2,57	1,95
Plástico Mole (%)	1,58	3,38
Material Org. Putrescível (%)	19,90	19,48
Metais (%)	4,63	2,82
Vidro (%)	2,11	3,08
Entulho (%)	-	0,37
Ossos (%)	-	0,55
Agregado Grosso (%)	41,14	29,27
Agregado Fino (%)	1,01	5,90
Perdas (%)	-	4,23

(*) - Fonte: Cetesb - 1979 - "Destinação Final dos Resíduos Sólidos na Baixada Santista-(1)

(**) - Análises efetuadas pela CETESB-1980

OBS: O valor da porcentagem de umidade refere-se à base úmida e os demais valores de porcentagem referem-se a material úmido.

TABELA Nº 4.2.3
COMPOSIÇÃO DO LIXO COLETADO NO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO

Variáveis	Município	São Paulo (*)
Umidade (%)		61,3
Papel (%)		17,3
Papelão (%)		5,5
Plásticos e Borracha (%)		9,4
Inorgânicos (%)		5,6
Orgânicos (%)		62,1

(*) Fonte: Cetesb - 1979 - Usina Termoelétrica a Resíduos Sólidos Urbanos da Cidade de São Paulo - (13)

TABELA Nº 4.2.4
COMPOSIÇÃO QUÍMICA DO GBQ EM ATERROS ESTUDADOS
(% em volume)

Autor	Griesinger	Griesinger	Griesinger	Griesinger	Dair & Schwegler	Gomes	Collins	Raimundo & Pinto
Local e referência	Aterro de Aarau	Aterro de Hardwald	Aterro de Baarburg	Aterro de Uttigen	Aterro de Palos Verdes	Aterro Km 14,5 Raposo Tavares	US EPA Standard	Aterro Km 14,5 Raposo Tavares
Componentes	(14)	(14)	(14)	(14)	(15)	(16)	(17)	(18)
CH ₄ %	56,7	52,6	46,3	20,7	50,2	61,9	50-60	67,0
CO ₂ %	35,1	37,2	33,0	27,7	48,0	36,7	40-45	26,1
O ₂ %	0,4	0,6	2,4	0,3	0,16	1,4	0-1	2,1
N ₂ %	5,9	9,6	18,4	49,5	0,86	...	1-5	4,3
CO %	3,7	...	...	...	...	...	...	0,2
H ₂ S %	...	...	...	...	...	0,001	...	...
SO ₂ %	...	...	...	...	...	...	...	traços
Hidrocarbonetos %	...	...	...	...	0,62	...	...	...
Cutros %	...	...	...	...	0,2	...	1-5	0,3

OBS.: (...) cifra desconhecida

TABELA Nº 4.2.5
PODER CALORÍFICO SUPERIOR DO GBQ

Autor	Referência	Local	Poder Calorífico kcal/Nm ³
Dair & Shwegler	(15)	Aterro de Palos Verdes	4 717
Gomes	(16)	Aterro km 14,5 Raposo Tavares	5 810
Collins	(17)	US EPA Standard	4 450 4 895
Raimundo & Pinto	(18)	Aterro km 14,5 Raposo Tavares	6 300

4.2.4 - TAXAS DE PRODUÇÃO DE GÁS

Dada a insuficiência de dados relativos à produção de gás em aterros sanitários, foram compilados dados referentes às taxas de produção obtidas em ensaios de laboratório em condições controladas e em três diferentes aterros localizados nos Estados Unidos. Deve-se ressaltar a inexistência de dados práticos sobre a variação dessas taxas ao longo do tempo.

A tabela nº 4.2.6 apresenta as taxas de produção de GBQ obtidas para três diferentes aterros.

A tabela nº 4.2.7 apresenta as taxas de produção de gás a partir da biodegradação de resíduos sólidos em ensaios de laboratório.

A figura nº 4.2.1 apresenta curvas de variação da velocidade de produção de gás para aterros sanitários propostas por Tabasaran e Rettenberger (23).

TABELA Nº 4.2.6
TAXAS DE PRODUÇÃO DE GÊO

Autor	Referência	Local	Taxa ml (gás)/kg (lixo) x dia
Schuyler	(19)	Palos Verdes	30 - 56
BSC Los Angeles	(20)	Sheldon Arleta	22
Colona	(21)	Mountain View	45

4.2.5 - CONSIDERAÇÕES SOBRE OS DADOS COMPILADOS E ESTI MATIVA DA TAXA DE PRODUÇÃO ADOTADA

Muito embora os dados referentes à produção de gás em aterros sanitários sejam escassos, aqueles compilados e já apresentados permitem tecer as seguintes considerações:

- os valores obtidos, tanto em experimentos laboratoriais como aqueles realizados em campo, referem-se aos resíduos sólidos domiciliares característicos dos E.U.A., com teores de umidade da ordem de 30%, de restos alimentares de 10 a 15% e de papel de 40 a 45%. Os resíduos sólidos característicos do Município de São Paulo apresentam 61,3% de umidade, 17,3% de papel, 5,5% de papelão e 62,1% de orgânicos.

- todos os ensaios efetuados mostraram que um

TABELA Nº 4.2.7
TAXAS DE PRODUÇÃO DE GÁS* A PARTIR DA BIODEGRADAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS
EM ENSAIOS DE LABORATÓRIO

Autor	Referência	Produção total l (gás)/kg (Lixo) base seca	Máxima taxa de produção ml (gás)/kg (Lixo) x dia base seca	Período de ensaio, dias	Tipo de preparação do resíduo
Merz	(5)	2,6 - 12,9	580	600	Picado
Merz & Stone	(6)	5,5	22	600	Não picado
Ramaswamy	(7)	10,0 - 183,0	3 300	60	Sintético partícula 2 mm
Rovers & Farquhar	(8)	6,5	84	600	Não picado
De Walle, Chian & Hammerberg	(22)	5,4	180	300	Moído partícula 0,7 a 2 mm

(*) Dados referentes à produção total de gás ($CH_4 + CO_2 +$ Outros)

— $F = 0,067 \times e^{-0,288 \times t}$ (segundo RETTENBERGER, 1978)

após 20 anos : $\Sigma F = 200 \text{ m}^3/\text{t lixo}$

— · — $G_t = 217,5 (1 - e^{-0,07 \times t})$ (segundo TABASARAN, 1976)

após 20 anos : $\Sigma G_t = 217,5 \text{ m}^3/\text{t lixo}$

Temperatura do lixo = $17,5^\circ\text{C}$

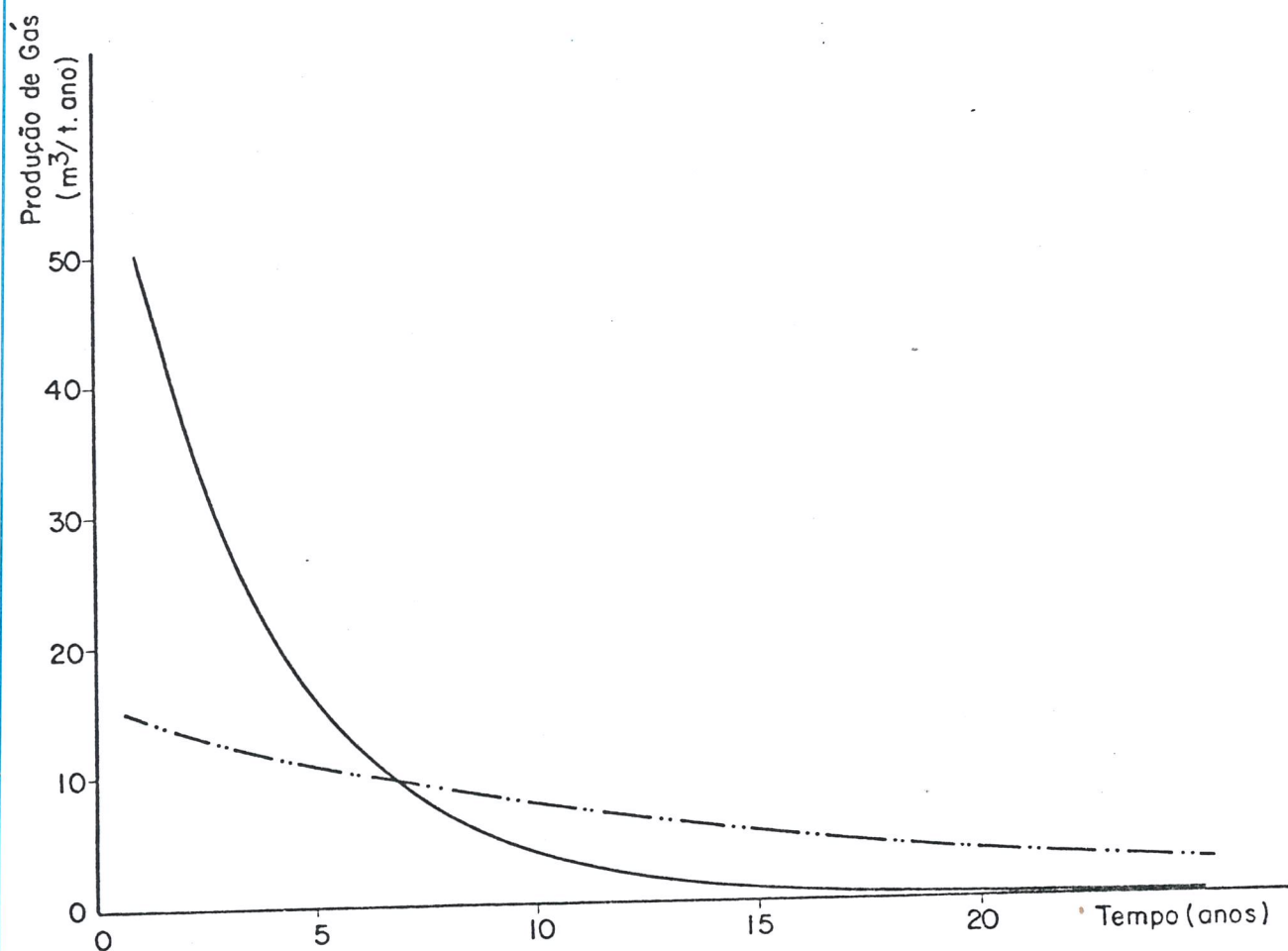


FIG. Nº 4.2.1

VELOCIDADE DE PRODUÇÃO DE GÁS SEGUNDO TABASARAN
E RETTENBERGER [23]

aumento, tanto na umidade do lixo, como na temperatura do processo, acelera a produção de gás. A figura nº 4.2.2 mostra o efeito da umidade na produção total de gás.

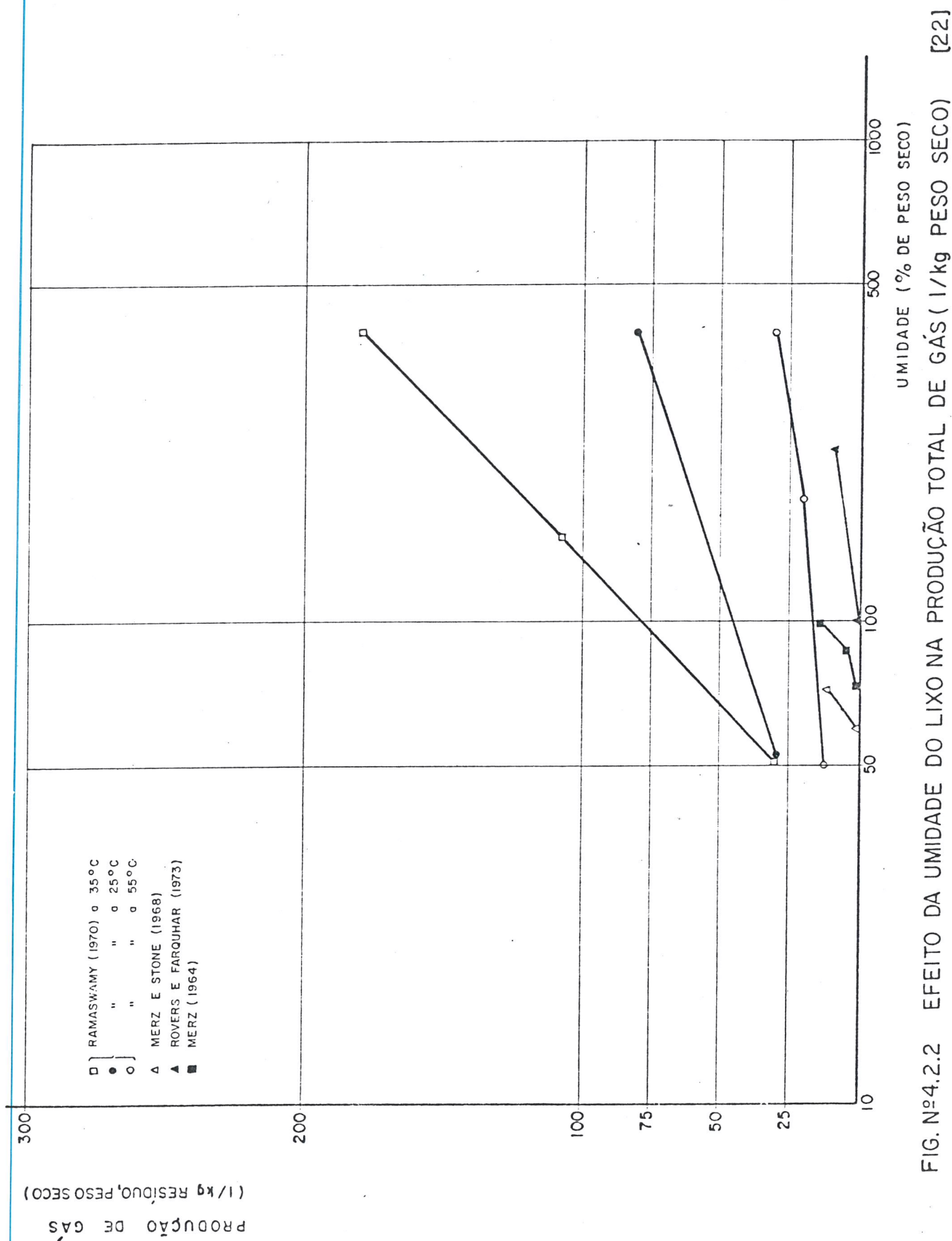
- os ensaios efetuados por Fungaroli e Stainer (12) mostram que uma diminuição do tamanho das partículas provoca um sensível aumento na produção de metano, conforme mostrado na figura nº 4.2.3. Estes ensaios mostram também um efeito semelhante provocado pelo aumento da densidade, apresentado na figura nº 4.2.4.

- existe também uma variação na porcentagem de metano e gás carbônico relacionada com a profundidade do aterro, conforme demonstrou Fungaroli (12), e que está apresentada nas figuras nºs 4.2.5 e 4.2.6. Estas figuras mostram também a variação da porcentagem de metano e gás carbônico no tempo.

- os valores teóricos de produção de gás encontrados variam de $248 \text{ Nm}^3/\text{t}$ (lixo) calculado por Gomes (16) até $410 \text{ Nm}^3/\text{t}$ conforme calculado por Anderson e Calleman (24). Entretanto, os valores recomendados para aterros são mais modestos, variando de $42 \text{ Nm}^3/\text{t}$, calculado por Hirt (25) até $124 \text{ Nm}^3/\text{t}$, de acordo com De Walle e Chian (22). Esses valores recomendados referem-se a aterros construídos sem finalidade de aproveitamento de gás como fonte de energia.

Deve-se levar em conta que, para o caso brasileiro, estes valores podem ser majorados, tendo em vista as diferenças de teor de matéria orgânica e teor de umidade do lixo, temperatura do meio ambiente e a uma concepção de construção do aterro sanitário de forma a favorecer a formação e a captação do GBQ, minimizando-se suas perdas.

É de se esperar que as taxas propostas por Tabasaran e Rettenberger (23) se mostrem um tanto conservativas quando aplicadas ao caso brasileiro, dadas as diferenças apontadas anteriormente entre os resíduos sólidos brasileiros e



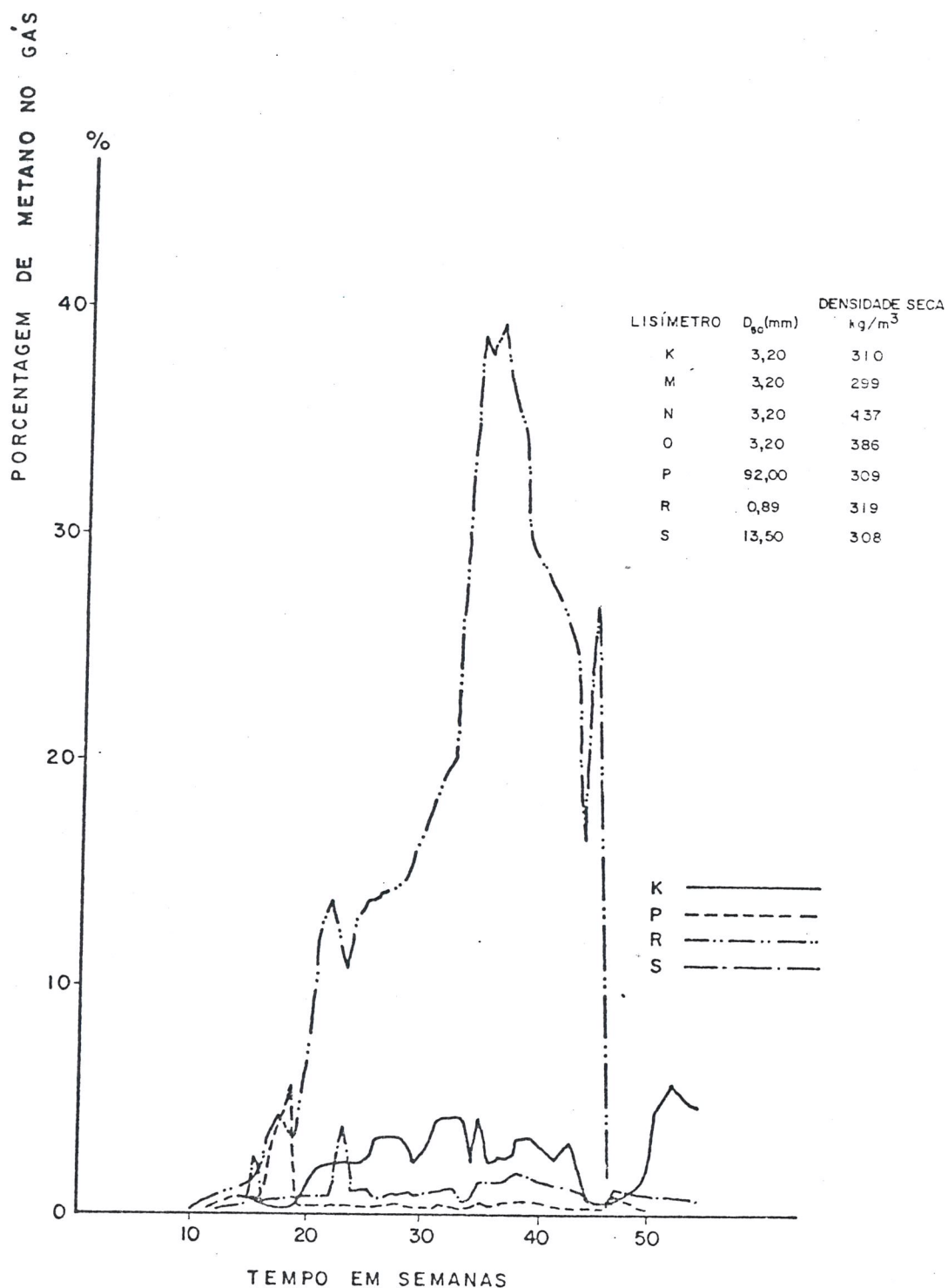


FIG. Nº 4.2.3

INFLUÊNCIA DO TAMANHO DA PARTÍCULA NA CONCENTRAÇÃO DE
 METANO [12]

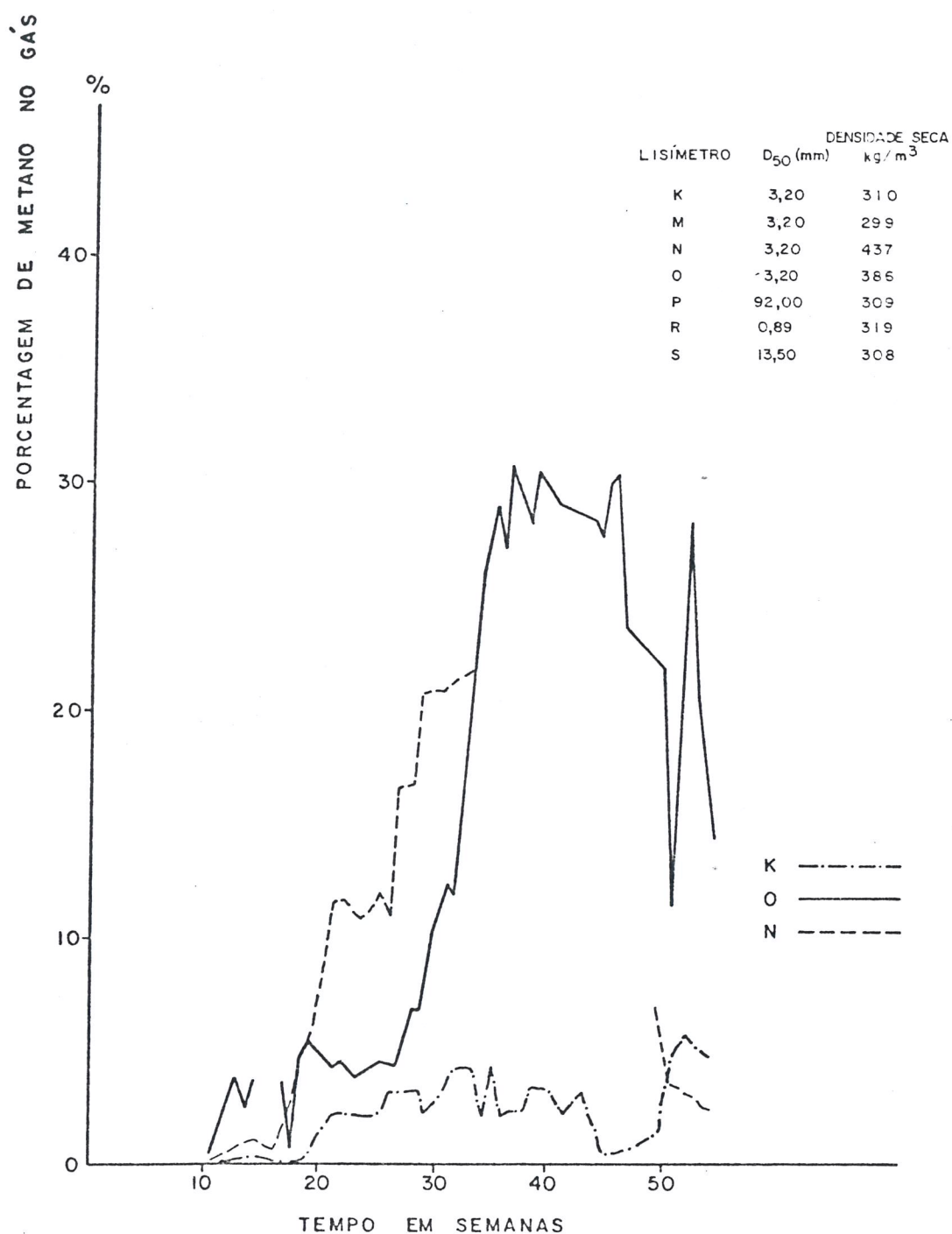


FIG.Nº 4.2.4 - INFLUÊNCIA DA DENSIDADE DO RESÍDUO NA CONCENTRAÇÃO
 DO METANO [12]

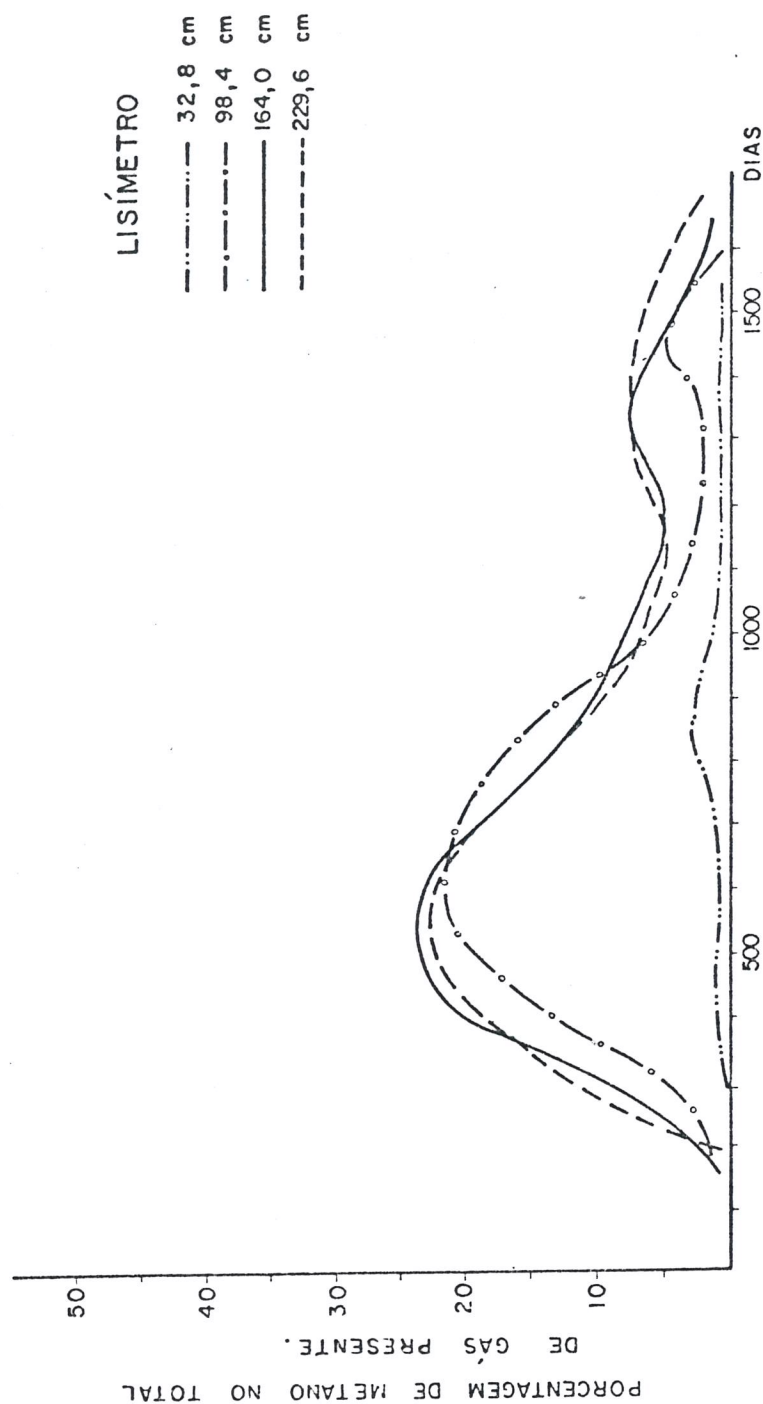


FIG. Nº 4.2.5 - PRODUÇÃO DE METANO [12]

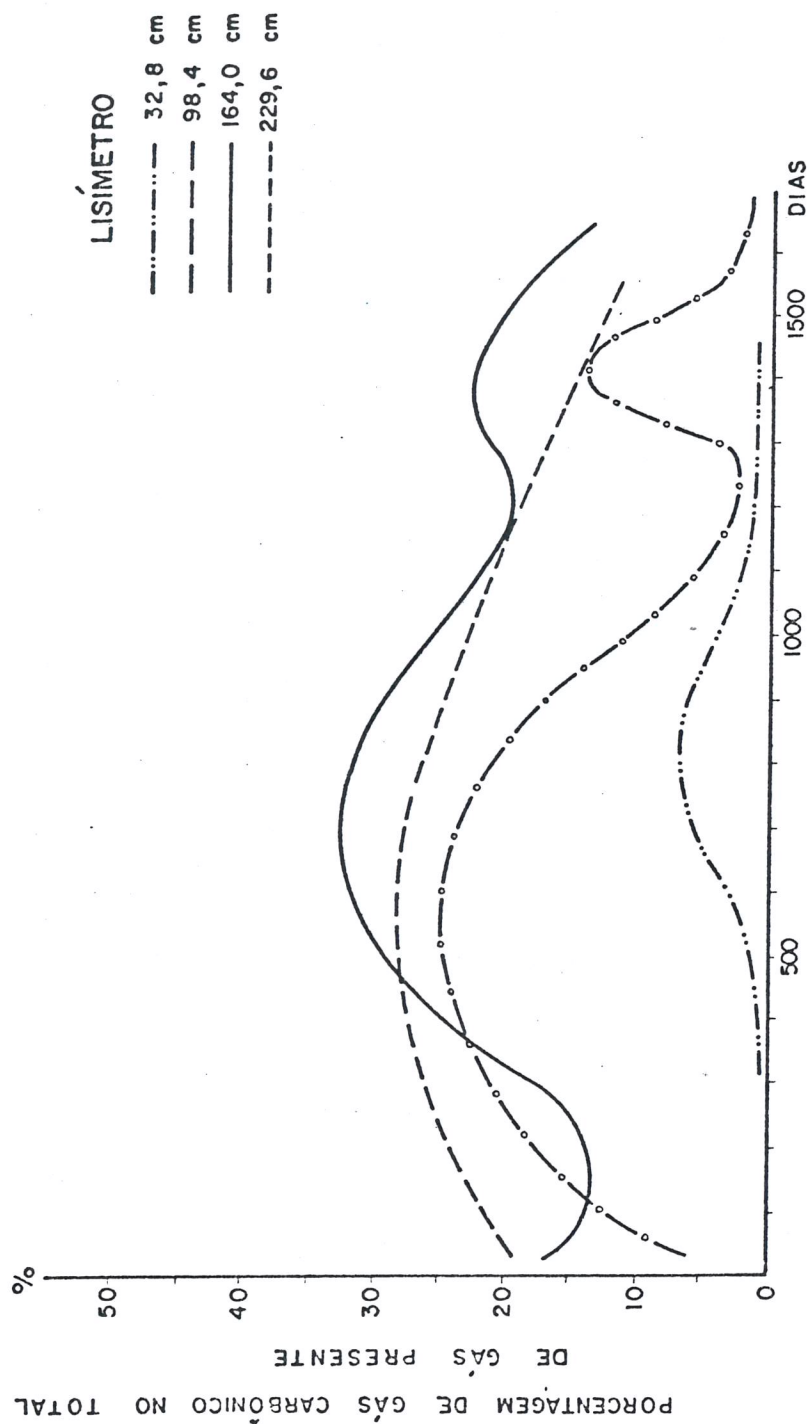


FIG. Nº 4.2.6 - PRODUÇÃO DE GÁS CARBÔNICO [12]

os de países que serviram de base para os trabalhos desses au
tores.

Tendo em vista o apresentado, pode-se estimar, com alguma margem de segurança, que os aterros executados com o lixo da Baixada Santista e construídos com o objetivo de se recuperar o gás produzido possam apresentar taxas de produção de GBQ útil, ou seja, de gás passível de ser utilizado, des
contadas as perdas, conforme apresentadas na tabela nº 4.2.8 e figura nº 4.2.7.

4.2.6 - EXPECTATIVA DA PRODUÇÃO DE GÁS COMBUSTÍVEL

Baseado nas projeções das quantidades coletadas de resíduos nos municípios envolvidos no estudo e na proposi
ção de produção de gás exposta no item 4.2.4, foi elaborada a tabela nº 4.2.9, que apresenta a expectativa de produção de GBQ útil em um aterro sanitário, construído especificamente para esse fim, até o ano 2001.

As figuras nºs 4.2.8 e 4.2.9 mostram, respecti
vamente, a produção anual e a produção anual acumulada de GBQ útil esperada no período considerado.

Conforme citado anteriormente, para os cálculos efetuados considerou-se todos os resíduos dos municípios de Santos, São Vicente, Cubatão, Guarujá e Praia Grande, estima
dos no item 3.4, como sendo dispostos em aterro sanitário con
junto.

TABELA Nº 4.2.8
ESTIMATIVA DA PRODUÇÃO DE GBQ ÚTIL DE UM ATERRO SANITÁRIO
CONSTRUÍDO ESPECIFICAMENTE PARA RECUPERAR GÁS

Ano	Produção Anual de GBQ (Nm ³ /t de lixo x ano)	Produção Acumulada do GBQ (Nm ³ /t de lixo)
1º	-	-
2º	19	19
3º	18	37
4º	17	54
5º	16	70
6º	15	85
7º	14	99
8º	13	112
9º	12	124
10º	11	135
11º	10	145
12º	9	154

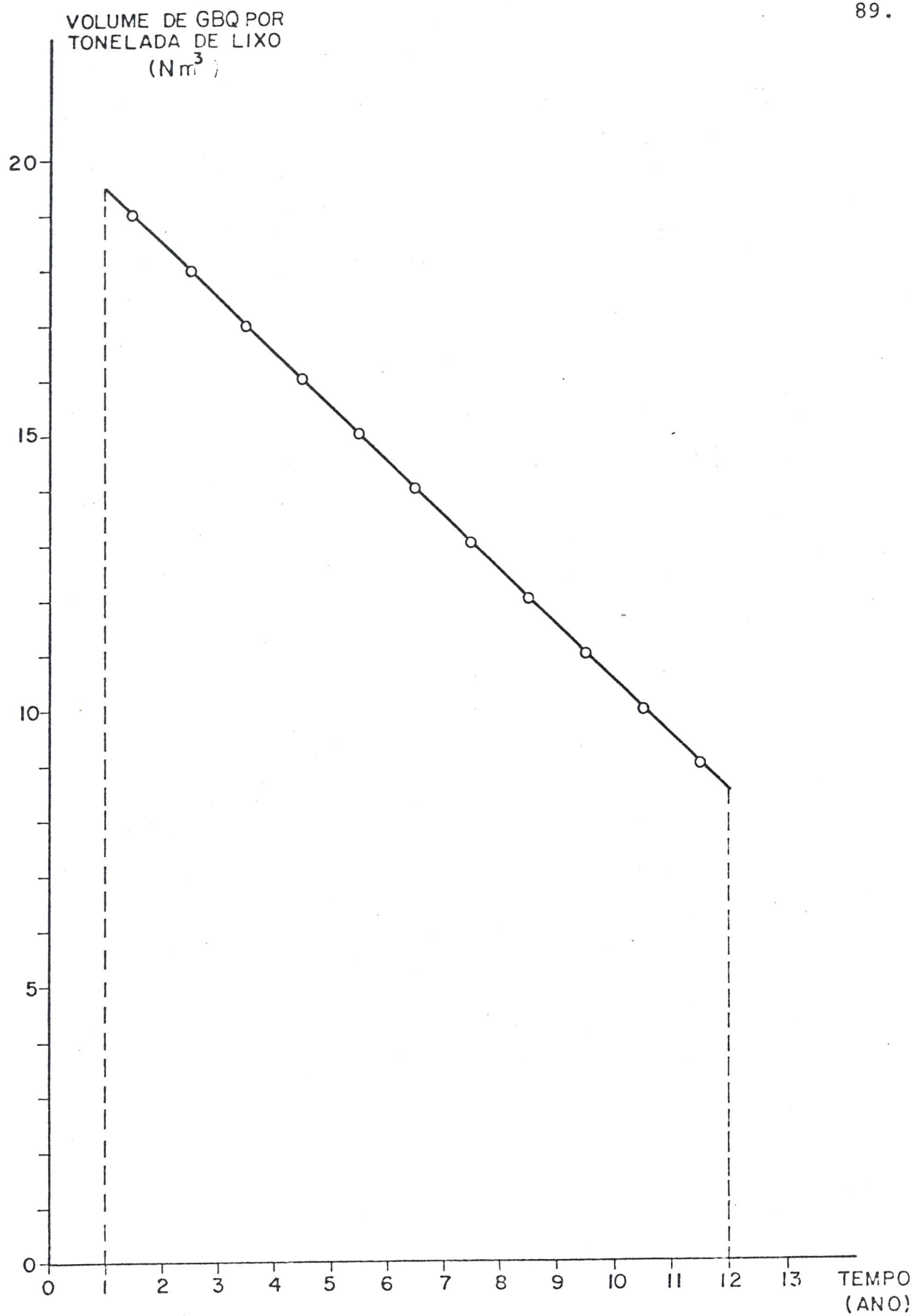


FIG. Nº 4.27 - ESTIMATIVA DA PRODUÇÃO ANUAL DE GBQ A
PARTIR DE 1 TONELADA DE LIXO

TABELA Nº 4.2.9

ESTIMATIVA DA PRODUÇÃO DE GBQ ÚTIL

Ano	Quantidade de Lixo Encaminhado ao Aterro (t/ano)		Produção de Gás Útil					
	de Santos, Cubatão e São Vicente	de Guarujá e Praia Grande	Diária (Nm ³ /dia)		Total		Anual (Nm ³ /ano)	
			do lixodo Santos, Cu batão e S. Vicente	do lixodo Guarujá e Praia Grande			do lixodo Santos, Cu batão e S. Vicente	do lixodo Guarujá, e Praia Grande
1981	212 520	101 404	0	0	0	0	0	0
1982	220 689	106 386	11 063	5 287	16 350	4 037 880	1 929 676	5 967 556
1983	226 549	111 342	21 968	10 539	32 507	8 018 451	3 846 606	11 865 057
1984	237 090	116 193	32 574	15 765	48 340	11 889 673	5 754 314	17 643 987
1985	245 361	121 136	43 109	20 939	64 048	15 734 625	7 642 849	23 377 474
1986	253 678	126 052	53 424	26 052	79 476	19 499 736	9 509 108	29 008 844
1987	262 013	130 938	63 499	31 089	94 589	23 177 309	11 347 635	34 524 944
1988	270 449	135 603	73 314	36 053	109 350	26 759 669	13 152 944	39 912 613
1989	278 871	140 441	82 850	40 866	123 716	30 240 300	14 916 003	45 156 303
1990	287 394	145 207	92 084	45 576	137 660	33 610 500	16 635 275	50 245 775
1991	295 980	149 772	100 997	50 150	151 146	36 863 766	18 304 641	55 168 407
1992	304 629	154 459	109 659	54 563	164 132	39 992 773	19 915 569	59 908 342
1993	313 331	159 106	113 123	56 588	169 711	41 289 969	20 654 694	61 944 663
1994	322 102	163 555	116 699	58 600	175 299	42 595 043	21 339 091	63 984 134
1995	330 938	168 140	120 349	60 591	180 939	43 927 244	22 115 651	66 042 895
1996	339 836	172 692	123 966	62 571	186 536	45 247 448	22 838 305	68 085 753
1997	348 806	177 233	127 607	64 537	192 144	46 576 698	23 555 956	70 132 654
1998	357 856	181 569	131 275	66 490	197 765	47 915 367	24 269 002	72 184 369
1999	366 949	186 060	134 973	68 422	203 395	49 265 050	24 974 163	74 239 213
2000	376 059	190 533	138 692	70 347	209 039	50 622 425	25 676 702	76 299 127
2001	-	-	142 986	72 260	215 246	52 189 886	26 375 067	78 564 953

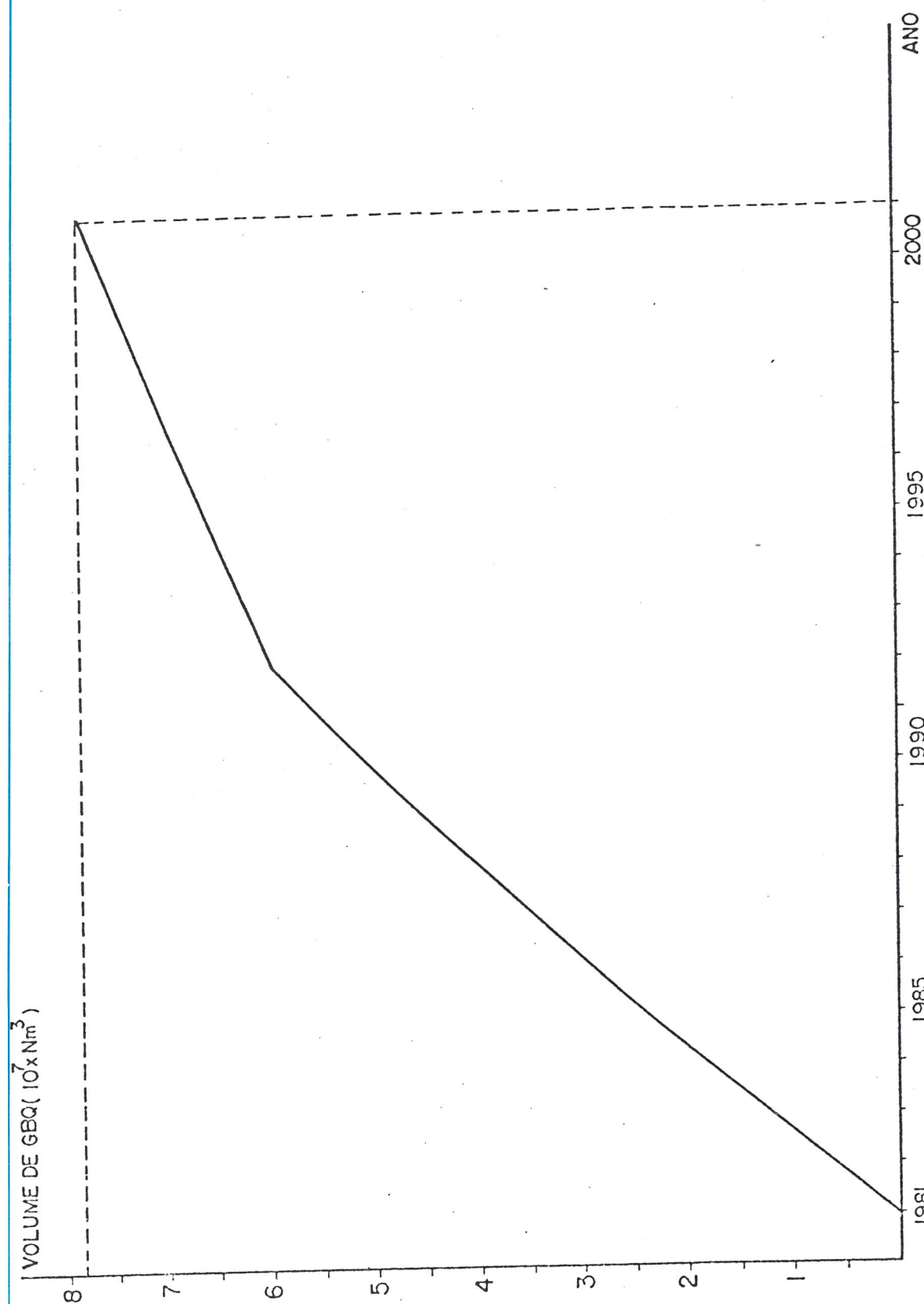


FIG. Nº 4.28- PRODUÇÃO ANUAL TOTAL DE GBQ ÚTIL EM FUNÇÃO DO TEMPO

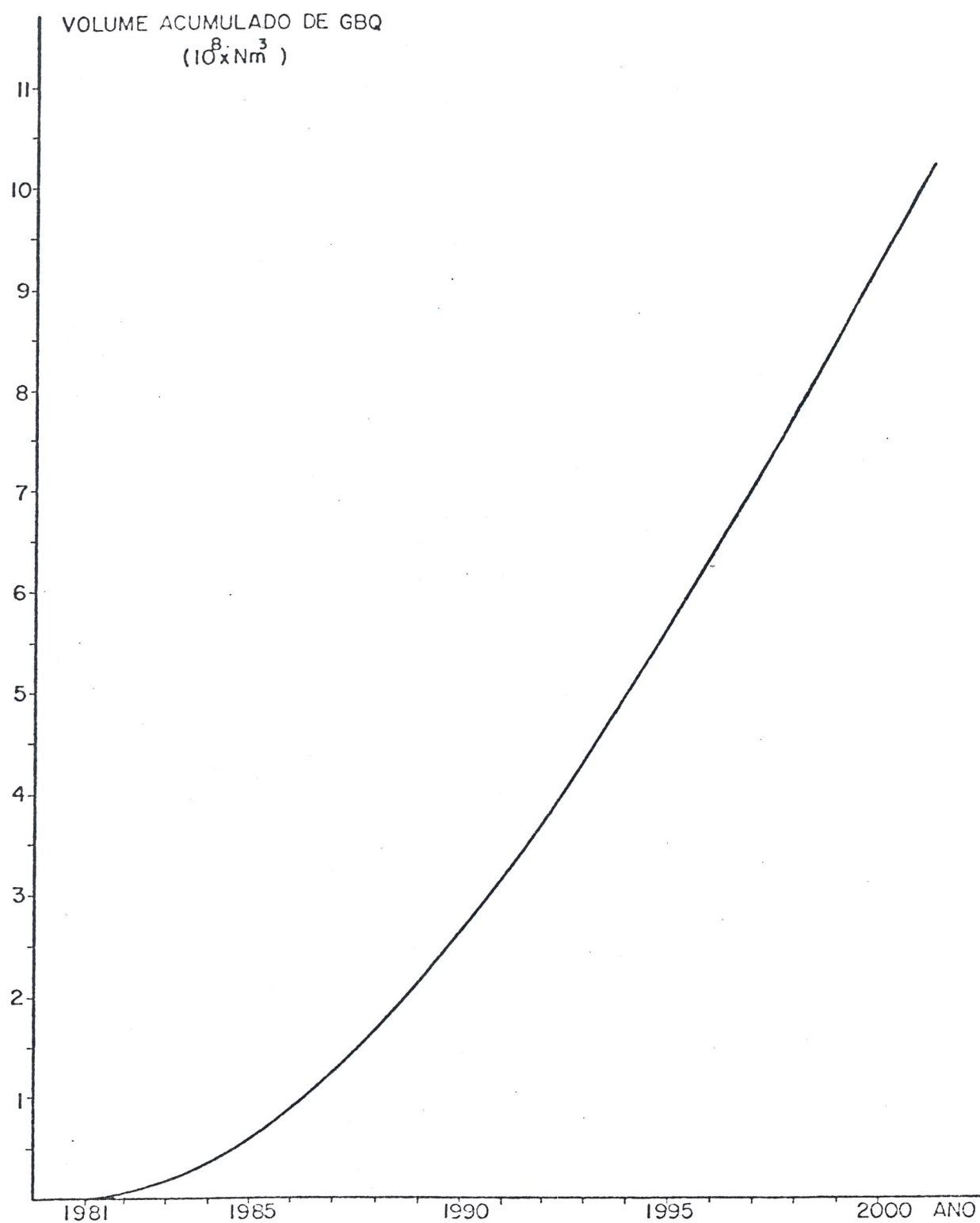


FIG. Nº 4.2.9 PRODUÇÃO ANUAL ACUMULADA DE GBQ ÚTIL NO ATERRO
SANITÁRIO AO LONGO DO TEMPO

CETESB - CIA. DE TECNOLOGIA E SANEAMENTO AMBIENTAL
BIBLIOTECA

5 - COMPARAÇÃO ENTRE OS EMPREENDIMENTOS PROPOSTOS

5 - COMPARAÇÃO ENTRE OS EMPREENDIMENTOS PROPOSTOS

A fim de que se possa optar por um dos dois empreendimen-
tos previstos, que será objeto de um estudo mais detalhado
quanto à viabilidade técnica e econômico-financeira, apresen-
tam-se, nos itens seguintes, , comentários acerca das vanta-
gens e desvantagens da implantação de um incinerador com recu-
peração energética, sob a forma de vapor de água, e de um a-
terro sanitário com produção e captação de gás bioquímico
(GBQ).

5.1 - APROVEITAMENTO ENERGÉTICO

Para a comparação entre a energia útil liberada (PCI x quantidade de combustível), considerou-se a instalação de um incinerador conforme descrito anteriormente, isto é: capacidade inicial (1984) para 900 t/dia de resíduos, aumento desta capacidade em mais 300 t/dia após cada período de 8 anos, nível de operação de 7 500 h/ano. Em relação ao GBQ, considerou-se que todo gás recuperado, a partir de 1984, é passível de ser utilizado como combustível, pois, se houver necessidade, pode-se estocá-lo em gasômetros para posterior queima.

Na tabela nº 5.1.1 e figura nº 5.1.1 são mostrados os perfis energéticos de ambos empreendimentos, onde se constata que:

. até o ano 2001, a energia útil liberada com o uso do GBQ e aproveitável é da ordem de $5\,127,7 \times 10^9$ kcal;

. até o ano 2001, a energia útil liberada com a incineração do lixo e aproveitável é da ordem de $6\,657,6 \times 10^9$ kcal (68% da energia potencial). Isto é, 30% superior àquela de corrente da utilização do GBQ. Porém, se não forem efetuadas as ampliações de capacidade de incineração preconizadas (hipótese provável, tendo em vista os investimentos adicionais necessários a cada 8 anos), essa energia aproveitável se reduziria ao nível de $5\,446,8 \times 10^9$ kcal, valor este próximo ao encontrado para o GBQ.

CETESB - CIA. DE TECNOLOGIA E SANEAMENTO AMBIENTAL
BIBLIOTECA

TABELA Nº 5.1.1
PREVISÃO DE APROVEITAMENTO ENERGÉTICO A PARTIR DA INCINERAÇÃO
DO LIXO E DO GBQ

Ano		Incineração				Gás de Aterro (GBQ)	
		Lixo Passível de ser Incinerado	Capacidade de Incineração	Energia Liberada Útil (1)		Produção de GBQ Prevista	Energia Liberada Útil
				Potencial (2)	Aproveitável (3)	Aproveitável (4)	Aproveitável (5)
				10 ⁹ kcal	10 ⁹ kcal	Nm ³	10 ⁹ kcal
Fase de Implantação	1981	302 606	0	325,6	0	0	0
	1982	315 359		339,3	0	0 (5 967 556)	0 (30,4)
	1983	325 879		350,6	0	0 (11 865 057)	0 (60,5)
Fase de Aproveitamento Energético	1984	340 770	900	366,7	302,6	17 643 987	90,0
	1985	353 584		380,5	302,6	23 377 474	121,6
	1986	366 419		394,3	302,6	29 008 844	150,8
	1987	379 240		408,1	302,6	34 524 944	179,5
	1988	391 942		421,7	302,6	39 912 613	207,5
	1989	404 804		435,6	302,6	45 156 303	234,8
	1990	417 693		449,4	302,6	50 245 775	261,3
	1991	430 444		463,2	302,6	55 168 407	286,9
	1992	443 382	1 200	477,1	403,5	59 908 342	311,5
	1993	456 332		491,0	403,5	61 944 663	322,1
	1994	469 152		504,8	403,5	63 984 134	332,7
	1995	482 174		518,8	403,5	66 042 895	343,4
	1996	495 225		532,9	403,5	68 085 753	354,1
	1997	508 336		547,0	403,5	70 132 654	364,7
	1998	521 322		560,9	403,5	72 184 369	375,4
	1999	534 508		575,1	403,5	74 239 213	386,1
	2000	547 695	1 500	589,3	504,4	76 299 127	396,8
	2001	560 799		603,4	504,4	78 564 953	408,5
TOTAL		9 047 665	-	9 735,3	6 657,6	986 424 450	5 127,7

Obs: (1) Quantidade de lixo (kg/ano) x PCI (kcal/kg de lixo)

(2) Se todo o lixo fosse incinerado (hipótese inexecutável)

(3) Operação 7 500 h/ano

(4) Nº entre parêntesis: GBQ produzido, mas não prevista a sua recuperação

(5) Nº entre parêntesis: energia potencial, mas não prevista a sua utilização

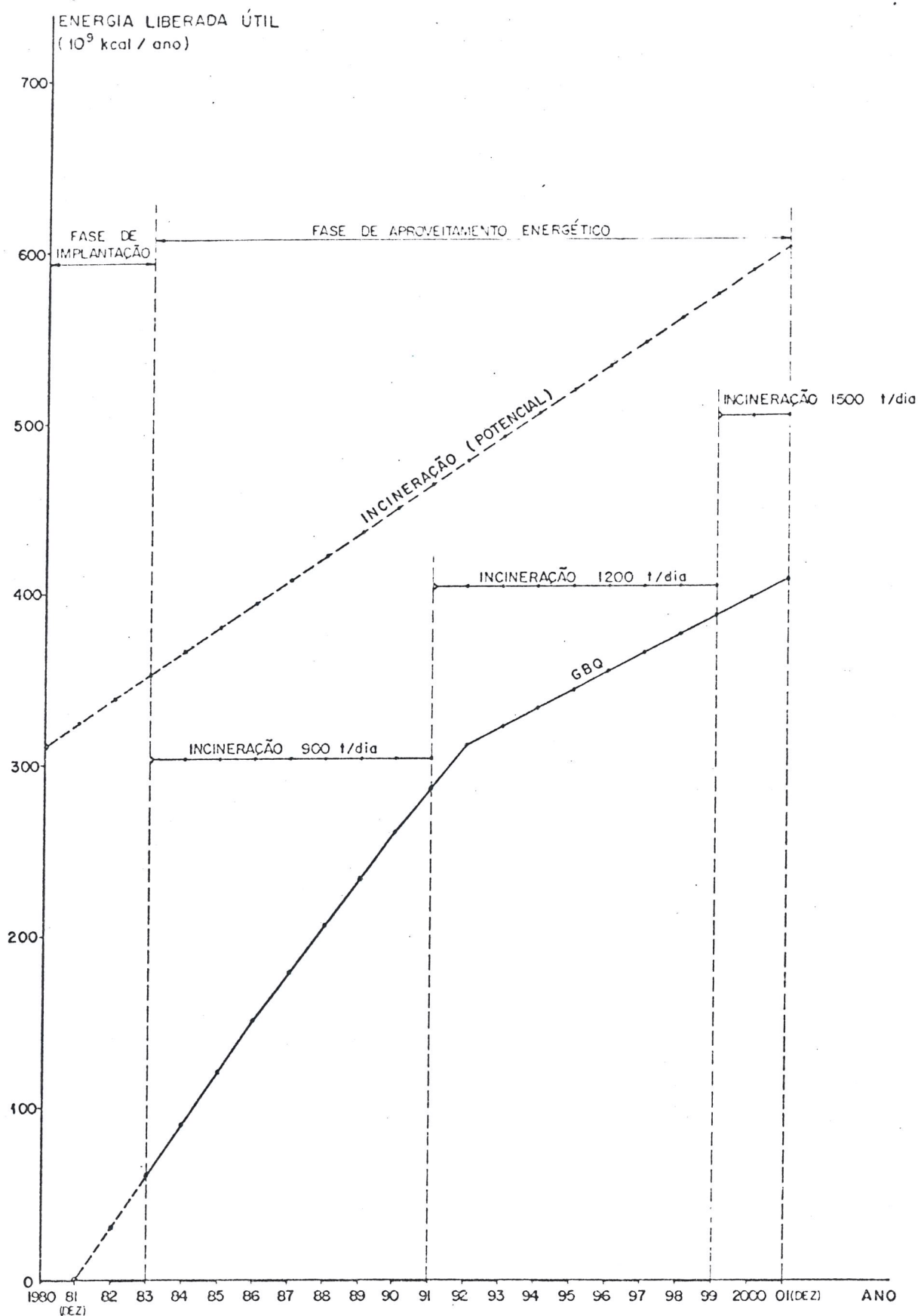


FIG. Nº 5.1.1 - PERFIL DO APROVEITAMENTO ENERGÉTICO PARA INCINERADOR COM GERAÇÃO DE VAPOR E UTILIZAÇÃO DE GBQ DE ATERRO SANITÁRIO

5.2 - ÁREA NECESSÁRIA

A implantação de um incinerador requer uma área consideravelmente menor que a necessária para a disposição do lixo em aterro sanitário. Porém, a alternativa incinerador, como já visto, não elimina a execução de um aterro sanitário para a parte excedente de resíduos não incinerados, e que é da ordem de uma terça parte do total de lixo.

Desta forma, pode-se prever que o conjunto incinerador-aterro sanitário deverá requerer uma área da ordem de 40% da área necessária para dispor todo o lixo sob a forma de aterro sanitário somente. Este é um aspecto importante do estudo, pois é escassa a disponibilidade de terrenos apropriados para o aterramento do lixo na Baixada Santista e este fato deverá ser uma condicionante do processo seletivo das soluções propostas.

Apenas como complementação, a incineração dos resíduos reduz o volume final dos resíduos a 5% do volume inicial, devido às perdas por volatilização da matéria, e no aterro sanitário a redução de volume é da ordem de 50%, dada à compactação do lixo.

5.3 - TRANSPORTE DO LIXO

Qualquer que seja a solução escolhida, o lixo deverá ser transportado por distâncias aproximadamente iguais, pois tanto o aterro sanitário como o incinerador (mais aterro sanitário para o lixo excedente) deverão estar localizados próximos às indústrias da Rodovia Cubatão-Piaçaguera.

Desta forma, o transporte do lixo não deverá ser um fator de peso no processo decisório.

5.4 - TRANSPORTE DO PRODUTO

Tanto o vapor de água gerado no incinerador, como o GBQ do aterro sanitário, deverão ser transportados por tubulação até a indústria que utilizará um ou outro produto.

A linha de condução de vapor deverá ser isolada termicamente e, dado ao seu alto custo, a fonte de geração de vapor deverá ser o mais próximo possível dos pontos de consumo. Há maior facilidade no transporte do gás, o que dá ao aterro sanitário maior flexibilidade na sua localização (do ponto de vista de condução do GBQ, não do de tamanho e adequabilidade da área para execução do aterro).

Tendo em vista a possibilidade de instalação do incinerador próximo à indústria consumidora, o aspecto transporte do produto (vapor ou GBQ) é de relativa importância na seleção do empreendimento.

5.5 - OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO

Este aspecto é francamente favorável à implantação de um aterro sanitário, pois a operação deste é extremamente mais simples, durante todo o ano. Uma eventual parada no processo de aterramento do lixo não ocasiona uma cessão na produção do GBQ. Já o incinerador opera de 7 000 a 7 800 horas/ano, parando seu funcionamento nas horas restantes (960 a 1 760 horas/ano ou 40 a 73 dias/ano) para manutenção do equipamento (preventiva e corretiva).

Portanto, é intensa a manutenção de um incinerador, dada a multiplicidade e sofisticação de equipamentos. Num aterro sanitário, a manutenção é basicamente dos veículos (tratores e caminhões) que fazem a movimentação de lixo e terra.

Quanto ao processo de incineração, este requer intenso controle dos parâmetros de combustão dos resíduos, que é realizado, via de regra, por aparelhos automáticos de regulação. Num aterro sanitário, o controle é preventivo no sentido de se evitar a presença de estranhos (catadores) e a proliferação de vetores.

5.6 - POLUIÇÃO

Outro aspecto que deverá favorecer a opção do aterro sanitário é que a mistura gasosa formada na biodigestão da matéria orgânica do lixo não é fonte de poluição e nem de incomodidades, pois, apesar de apresentar pequenas quantidades de gases mal-cheirosos, eles serão captados para serem utilizados como combustível.

Os líquidos percolados num aterro sanitário são a fonte principal de poluição, dada a sua elevada DBO (em geral, de 3 000 a 20 000 mg/l). Porém, tendo em vista que o aterro será concebido para o aproveitamento do GBQ, o líquido percolado deverá ser recirculado para o interior da massa de lixo, pois tem ele importância fundamental no processo de fermentação anaeróbia da matéria orgânica, com produção de gás metano. Por outro lado, deverá ser previsto o tratamento do líquido excedente para evitar-se a poluição de cursos de água.

Quanto à operação de um incinerador de grande porte (900 a 1 500 t/dia), como previsto, numa região (Cubatão) onde a poluição atmosférica é das mais densas e graves do País, mesmo com a instalação de equipamentos sofisticados (e caros), com alta eficiência no controle das emanações, como por exemplo os precipitadores eletrostáticos (eficiência de 90 a 96% em relação ao material particulado), ainda poderá haver um desprendimento de fumos com quantidades de particulados e gases poluentes não desprezíveis.

A seguir, na tabela nº 5.6.1, são dadas as quantidades previstas, por tonelada de lixo, dos principais poluentes emitidos na incineração dos resíduos sólidos (26), considerando-se o incinerador sem qualquer equipamento de controle de polução ou com precipitador eletrostático de eficiência 95%:

TABELA Nº 5.6.1
ESTIMATIVA DE EMISSÃO DE POLUENTES NUM
INCINERADOR DE LIXO

Poluente Emitido (kg/t de lixo)	Incinerador sem Equipamento de Controle	Incinerador com Precipitador Eletrostático
Particulados	15,0	0,75
Óxidos de Enxofre	1,25	1,25
Monóxido de Carbono	17,5	17,5
Óxidos de Nitrogênio	1,50	1,50
Hidrocarbonetos	0,75	0,75

Portanto, a implantação de tal instalação de queima de resíduos deverá sempre ser precedida de estudos específicos a cerca do problema de poluição, visando a um melhor conhecimento do impacto ambiental a ser causado na vizinhança, o que poderá levar a conclusões a respeito da inviabilidade de tal empreendimento.

5.7 - INVESTIMENTOS E CUSTOS OPERACIONAIS

Para efeito de comparação econômico-financeira dos empreendimentos enfocados, na tabela nº 5.7.1 são dados valores indicativos de investimentos necessários e custos operacionais, obtidos dos estudos efetuados pela CETESB para a Baixa da Santista (1).

Nos investimentos não estão computados os valores relativos à aquisição das áreas para implantação do empreendimento. Os custos operacionais são relativos a uma taxa de juros de 10% ao ano para amortização dos investimentos efetuados.

Para o aterro sanitário, baseou-se a sua execução na ârea de Quilombo, dada a sua localização.

Os valores em Cr\$ foram atualizados levando-se em conta o índice geral de preços (IGP-DI) da FGV e não estão computados os custos relativos a transportes do lixo e dos produtos (GBQ e vapor).

Conforme se observa da tabela, é enorme a diferença entre os dois empreendimentos, com sensível vantagem para a implantação de um aterro sanitário com captação de GBQ.

O valor obtido para o aterro de 226 Cr\$/t não levou em conta medidas especiais para produção e recuperação do GBQ, como por exemplo sistema de recirculação de líquidos, captação do gás, etc. Desta forma, admitindo-se, com boa margem de segurança, que este valor venha a dobrar (452 Cr\$/t), ainda assim é notória, do ponto de vista econômico, a vantagem do aterro sanitário sobre o incinerador.

O custo da energia liberada é calculado de acordo com os dados apresentados na tabela nº 5.7.2, em que se considerou o lixo disposto (aterrado e/ou incinerado) no período de

TABELA Nº 5.7.1
ESTIMATIVA DE INVESTIMENTOS E CUSTOS OPERACIONAIS DOS EMPREENDIMENTOS

Ítem	Unida de	Incinerador com Geração de Vapor (Capac. 900 t/dia)		Aterro Sanitário no Quilombo (Capac. 700 t/dia)	
		Cr\$ de Outubro/79	Cr\$ de Outubro/80 (*)	Cr\$ de Outubro/79	Cr\$ de Outubro/80 (*)
Investimento Inicial	Cr\$	1 184 x 10 ⁶	2 476 x 10 ⁶	1 068 x 10 ⁴	2 233 x 10 ⁴
Custo Operacional Unitário (Taxa de juros de 10% a.a.)	Cr\$/t	566	1 184	108	226

(*) IGP acumulado de novembro/79 a outubro/80 = 109,1 %.

TABELA Nº 5.7.2
ESTIMATIVA DO CUSTO UNITÁRIO DA ENERGIA
LIBERADA POR EMPREENDIMENTO

Empreendimento		Custo Unitário do Processamento do Lixo	Quantidade de Lixo Processada	Energia Liberada	Custo Unitário da Energia
		Cr\$/t	t	10 ⁹ kcal	Cr\$/10 ³ kcal
Aterro Sanitário com produção de GBQ		452	9 370 008	5 127,7	0,826
Incinerador com Geração de Vapor	Para o Lixo Incinerado	1 184	6 187 500	6 657,6	1,208
	Para o Lixo Excedente Aterrado	226	3 182 508	-	

Obs: Não estão computados os custos de áreas, nem de transportes de lixo e de produtos (GBQ e vapor de água). Os volumes em cruzeiros referem-se ao mês de outubro/80.

1981 a 2001, a energia útil liberada num e noutro empreendimento e os custos unitários de processamento. Levou-se em conta também, no caso da instalação do incinerador, o custo de disposição, em aterro sanitário simples, do total de lixo excedente. Os resultados demonstram que a energia obtida com aqueima do GBQ é cerca de 30% mais barata que a obtida no processo de incineração dos resíduos.

CETESB - CIA. DE TECNOLOGIA E SANEAMENTO AMBIENTAL
BIBLIOTECA

6 - SELEÇÃO DO EMPREENDIMENTO MAIS INTERESSANTE

6 - SELEÇÃO DO EMPREENDIMENTO MAIS INTERESSANTE

O critério fundamental para a escolha de um dos dois empreendimentos preconizados é o econômico-financeiro, já que ele só será exequível na medida em que desperte o interesse de empresas e esteja o mais possível ao alcance das administrações municipais, cujos recursos são sempre insuficientes para as reais necessidades dos municípios.

Além disso, para que o empreendimento seja viável, são necessários outros fatores, como a existência de área apropriada próxima ao ponto de consumo de vapor ou gás, vias de acesso adequadas (rodovia, ferrovia ou hidrovia) e facilidade de implantação de um sistema de transporte de lixo.

Um fato importante que pesou no processo decisório de seleção do empreendimento é o interesse demonstrado pela Companhia Siderúrgica Paulista - COSIPA na utilização de gás bioquímico, gerado em aterro sanitário, como combustível complementar em suas usinas.

6.1 - EMPREENDIMENTO SELECIONADO

Tendo em vista o que foi exposto nos itens precedentes, o empreendimento que melhor apresenta possibilidades de implantação dos pontos de vista técnico e econômico, é o aterro sanitário com recuperação de GBQ para uso combustível na COSIPA.

O aproveitamento energético do GBQ inferior ao da alternativa incinerador com geração de vapor é amplamente compensado pela maior confiabilidade do sistema (produção ininterrupta de GBQ ao longo de todo o tempo) e menor risco do empreendimento.

Por outro lado, há esperança no aumento da taxa de produção de GBQ, já que os valores adotados neste estudo foram baseados na qualidade de resíduos sólidos de outros países, que é notoriamente inferior à qualidade do lixo nacional do ponto de vista de potencial de geração de gás combustível. Quanto ao incinerador, como foi visto, para um bom aproveitamento energético há necessidade de aumentos na capacidade de incineração a cada oito anos, o que significa novos e altos investimentos periodicamente.

Desta forma, a implantação do aterro sanitário com produção de GBQ ficaria condicionada à existência de área adequada ao empreendimento. Em decorrência desse fato, foi efetuado um novo trabalho de pesquisa que revelou a existência de áreas interessantes próximas à COSIPA.

6.2 - PESQUISA DE ÁREAS APROPRIADAS

6.2.1 - LEVANTAMENTOS

A pesquisa e o levantamento de dados em carteira desenvolveram-se junto à COSIPA e às entidades e prefeituras ligadas ao assunto.

Foram coligidos mapas, aerofotos e levantamentos no Instituto Geográfico e Geológico de São Paulo-IGG-SP, no Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística-IBGE, na Companhia de Saneamento Básico de São Paulo - SABESP e na CETESB.

Os elementos mais apropriados foram, entretanto, obtidos do trabalho "Destinação Final dos Resíduos Sólidos na Baixada Santista - CETESB/79" (1), que apresentou, nos seus levantamentos, 40 locais na Baixada Santista como potencialmente aproveitáveis para a implantação de aterros sanitários, estações de transbordo e unidades de tratamento.

Tais levantamentos foram complementados através de visitas a outros locais e novas áreas próximas à COSIPA foram pesquisadas.

6.2.2 - PRÉ-SELEÇÃO DAS ÁREAS

As áreas levantadas para a implantação de possíveis aterros sanitários com geração de gás foram pré-selecionadas utilizando-se, como critério seletivo, sua maior proximidade em relação à COSIPA. Resultaram 6 áreas, a saber : Vila Parisi, Quilombo, Das Neves I. Das Neves II, Guarapã e Sítio Areaes (com 4 sub-áreas adjacentes).

Para a construção de possíveis estações de

transbordo de lixo também foram pré-selecionadas algumas áreas, considerando-se os seguintes aspectos:

- proximidade em relação aos centros geradores de lixo dos municípios;
- proximidade em relação as vias de acesso, que ligam as cidades às áreas pré-selecionadas para possíveis aterros sanitários.

Foram, então, escolhidas as 8 áreas seguintes: Alemôa, Santa Casa e Pedreira, situadas no Município de Santos; Bananal e Jardim Primavera, no Guarujá e Santo Antonio, Vila Sonia e Jardim Quietude no Município de Praia Grande.

6.2.3 - SELEÇÃO DAS ÁREAS

Para efeito de seleção das áreas, necessitou -se ponderar certos aspectos qualitativos dos locais escolhidos. Assim sendo, definiram-se os seguintes critérios:

C_1 - Quanto à poluição ambiental

As áreas devem possuir características tais que minorem os riscos de contaminação de água, ar e solo.

É conveniente salientar que, qualquer que seja o local, estes riscos podem ser evitados desde que se adotem cuidados especiais durante o projeto e a operação.

C_2 - Quanto à vizinhança

As áreas receptoras de resíduos devem estar distantes de edificações e interditadas ao acesso público de maneira a minimizar os riscos à saúde pública e poupar a população de desconforto visual.

C_3 - Quanto ao acesso

As áreas devem ser servidas por bom acesso evitando-se, tanto quanto possível, a abertura de vias de ligação, o que acarretaria um acréscimo no custo final por tonelada.

C_4 - Quanto à disponibilidade de terra para cobertura

Os possíveis aterros sanitários devem dispor de jazidas de terra no próprio local, evitando-se custos adicionais devidos ao transporte deste material.

C_5 - Quanto à proximidade da COSIPA

Como os aterros sanitários objetivam a geração de gás a ser utilizado pela COSIPA, as áreas receptoras de resíduos devem estar próximas à usina.

C_6 - Quanto à proximidade em relação ao centro de massa gerador de lixo

As áreas para estações de transbordo do lixo devem estar situadas próximas aos centros geradores de lixo dos municípios, de maneira a se ter uma economia maior no seu transporte.

Como alguns dos critérios são qualitativos, foram atribuídos pesos, variando de 0 a 100, para estimar a adequabilidade ao uso proposto. Deste modo adotaram-se:

- custo de desapropriação e/ou de oportunidade
- capacidade do local em termos de recepção de lixo

- tipo de vizinhança atual e futura
 - peso 0 - se fora da zona de expansão urbana
 - peso 100 - se localizado entre residências
- potencial de poluição ambiental
 - peso 0 - se não apresentar riscos de poluição
 - peso 50 - se apresentar riscos de poluição das águas não destinadas ao consumo
 - peso 100 - se apresentar riscos de poluição das águas destinadas ao consumo humano
- facilidade de acesso
 - peso 0 - se muito fácil, mesmo em dias de chuva
 - peso 100 - se muito difícil
- proximidade da COSIPA
 - peso 0 - se muito perto
 - peso 100 - se muito distante
- proximidade em relação ao centro de massa gerador de lixo
 - peso 0 - se muito perto
 - peso 100 - se muito distante

As tabelas nºs 6.2.1 e 6.2.2 sumarizam as principais considerações e apresentam a seleção das áreas, tendo em vista os critérios enumerados.

Deste processo seletivo resultaram 4 áreas adjacentes, situadas no sítio Areaes, para se implantar os aterros sanitários com geração de gás e 3 áreas para se construir estações de transbordo, a saber: Alemôa para o lixo de Santos e São Vicente, Jardim Primavera no Município do Guarujá e Vila Sonia no Município de Praia Grande.

TABELA Nº 6.2.1
SELEÇÃO DAS ÁREAS PARA ATERROS SANITÁRIOS COM GERAÇÃO
DE GÁS, SEGUNDO OS CRITÉRIOS ADOTADOS

Local	Critérios					Áreas elimi- nadas crité- rios de descar- te
	Poten- cial de polui- ção C_1	Vizi- nhança C_2	Facili- dades de acesso C_3	Disponi- bilidade de de- terra C_4	Proximi- dade da COSIPA C_5	
Sítio Areaes (4 subáreas adjacentes)	40	30	20	Sim	0	
Quilombo	70	30	40	Sim	50	C_1, C_5
Das Neves I	30	10	50	Sim	60	C_3, C_5
Vila Parisi	80	40	30	Não	30	C_1, C_4
Das Neves II	30	10	60	Sim	70	C_3, C_5
Guarapã	30	10	80	Não	80	C_3, C_4, C_5

TABELA Nº 6.2.2
SELEÇÃO DAS ÁREAS PARA ESTAÇÕES DE TRANSBORDO, SEGUNDO OS CRITÉRIOS ADOTADOS

Município	Local	Custo (Cr\$/m ²)	Critérios			Áreas Eliminadas Critérios de Descarte
			Vizinhança C ₂	Facilidades de Acesso C ₃	Proximidade em Relação aos Centros Geradores de Lixo C ₆	
Santos	Alemôa	-	10	10	40	
	Santa Casa	4 000,00	100	10	30	C ₂ e custo
São Vicente	Pedreira	3 000,00	50	20	30	C ₂ e custo
Guaruja	Bananal	200,00	40	50	50	C ₃ e C ₆
	Jardim Primavera	200,00	40	20	30	
Praia Grande	Santo Antonio	300,00	10	80	70	C ₃ e C ₆
	Vila Sônia	350,00	20	10	30	
	Jardim Quietude	300,00	20	30	40	C ₃ e C ₄

6.3 - CARACTERÍSTICAS DA ÁREA SELECIONADA PARA O ATERRO SANITÁRIO

6.3.1 - CONSIDERAÇÕES GERAIS

No antigo Sítio Areaes, localizado no Município de Cubatão, existem 4 sub-áreas adjacentes nas quais poderá ser implantado o aterro sanitário. As mesmas foram enumeradas de I a IV, para efeito de identificação.

Atualmente, a sub-área I vem sendo utilizada para extração de terra, que é vendida às indústrias próximas para a execução de aterros em suas propriedades.

Previu-se a execução do aterro sanitário nas áreas I, II e III, em duas etapas, com início previsto na área III. A área IV foi reservada para a implantação de um sistema de tratamento do líquido percolado do aterro por lagoas de estabilização biológica.

Previu-se também a construção de uma estrada de acesso à área I, atravessando o morro existente. Esta estrada deverá ocupar uma faixa de terreno de 30 metros de largura por 1 600 metros de extensão, com aclives não superiores a 4%.

Portanto, para a consecução da 1ª etapa do projeto necessita-se dispor das áreas III e IV e da faixa de acesso, sendo que a 2ª etapa deverá dispor das áreas I e II.

As superfícies de terreno estimadas como sendo necessárias ao projeto são as seguintes:

1ª ETAPA

Área III	620 000 m ²
Área IV	213 000 m ²
Acesso	48 000 m ²
Total 1ª Etapa	881 000 m ²

2ª ETAPA

Área I	365 000 m ²
Área II	252 000 m ²
Total 2ª Etapa	617 000 m ²

TOTAL 1ª + 2ª ETAPAS 1 498 000 m²

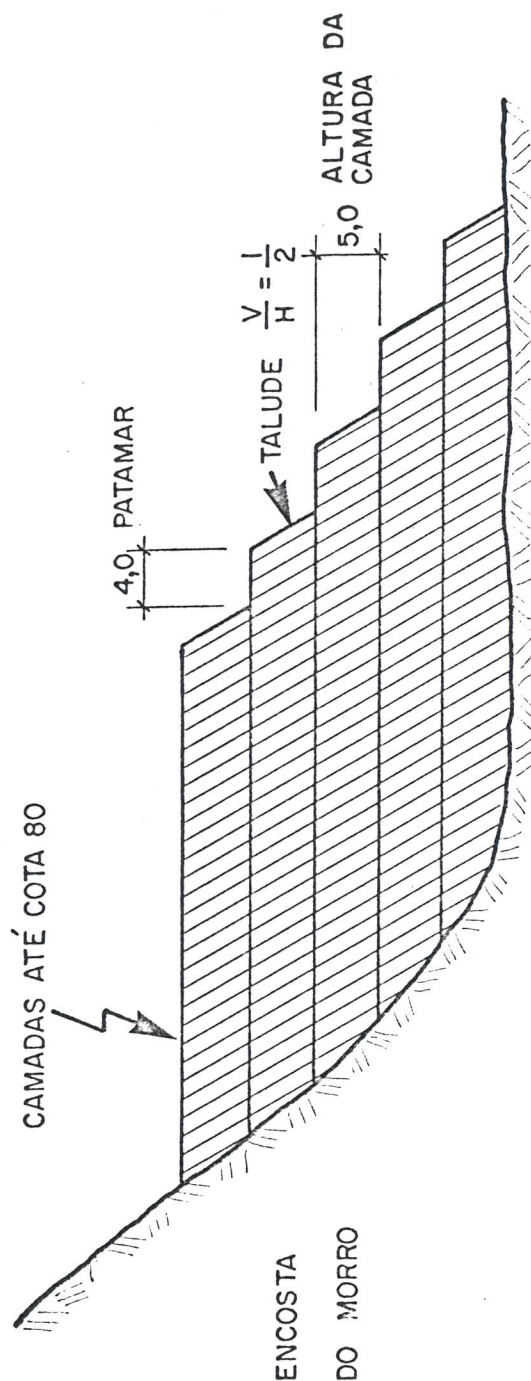
6.3.2 - AVALIAÇÃO DA CAPACIDADE DE RECEPÇÃO DE LIXO NA ÁREA SELECIONADA - VIDA ÚTIL DO ATERRO

A vida útil de operação do aterro sanitário foi avaliada através de cálculos dos volumes das camadas constituintes do aterro, considerando-se o mesmo executado até a cota 80 e com acabamento em taludes de $\frac{V}{H} = \frac{1}{2}$. As camadas de lixo e terra de cobertura deverão ter altura de 5 metros, deixando-se um patamar de 4 metros ao longo da linha dos taludes, conforme esquematizado na figura nº 6.3.1.

Na estimativa da vida útil não se considerou o volume ocupado pela terra de cobertura do lixo, pois a mesma deverá ser retirada do próprio local, isto é, ela apenas sofrerá o remanejamento de um ponto a outro do aterro, não ocupando, portanto, volumes adicionais.

Os volumes avaliados das camadas constituintes do aterro sanitário e as quantidades acumuladas de lixo que chegará no mesmo estão apresentados nas tabelas nºs 6.3.1 e 6.3.2, respectivamente.

De posse dos dados contidos nestas tabelas, e



COTAS EM metros

FIG Nº 63.1 ESQUEMA DE CONFORMAÇÃO DO ATERRO SANITÁRIO

laborou-se um gráfico representado na figura nº 6.3.2 de preenchimento das áreas do aterro sanitário, com lixos dos municípios de Santos, São Vicente, Cubatão, Guarujá e Praia Grande, de onde se obteve a vida útil de aproximadamente 24 anos para o aterro, dos quais 17 abrangerão a 1ª etapa do projeto e os restantes 7 anos, a 2ª etapa.

TABELA Nº 6.3.1
AVALIAÇÃO DA CAPACIDADE DE RECEPÇÃO DE LIXO
DO ATERRO SANITÁRIO

Camada (cota)	Volume da Camada (m3)		
	1ª Etapa	2ª Etapa	
	Área III	Área I	Área II
5-10	405 500	151 100	107 400
10-15	566 830	203 290	114 670
15-20	601 010	242 560	118 680
20-25	621 570	275 160	123 740
25-30	629 730	299 350	125 920
30-35	636 110	317 920	125 760
35-40	669 550	335 060	128 870
40-45	710 790	357 790	139 760
45-50	746 590	367 800	151 520
50-55	834 350	370 890	151 580
55-60	994 490	385 040	149 920
60-65	1 017 980	400 250	135 700
65-70	1 084 310	415 890	115 160
70-75	1 159 660	434 200	104 950
75-80	1 252 320	455 275	94 050
TOTAL	11 880 790	5 011 575	1 887 680

TABELA Nº 6.3.2
QUANTIDADES ACUMULADAS DE LIXO NO ATERRO SANITÁRIO CONJUNTO
DOS MUNICÍPIOS DE SANTOS, SÃO VICENTE, CUBATÃO,
GUARUJÁ E PRAIA GRANDE

Ano	Lixo Acumulado	
	Peso (t)	Volume (*) (m ³)
1981	313 924	523 207
1982	640 999	1 068 331
1983	978 889	1 631 482
1984	1 332 171	2 220 285
1985	1 698 668	2 831 113
1986	2 078 398	3 463 997
1987	2 471 349	4 118 915
1988	2 877 400	4 795 667
1989	3 296 712	5 494 520
1990	3 729 313	6 215 521
1991	4 175 064	6 958 440
1992	4 634 153	7 723 588
1993	5 106 590	8 510 983
1994	5 592 246	9 320 410
1995	6 091 324	10 152 207
1996	6 603 852	11 006 420
1997	7 129 890	11 883 151
1998	7 669 315	12 782 192
1999	8 222 324	13 703 873
2000	8 788 916	14 648 193
2001	9 369 005	15 615 008

OBS.: (*) Peso específico aparente adotado para o lixo com
pactado no aterro: 0,60 t/m³

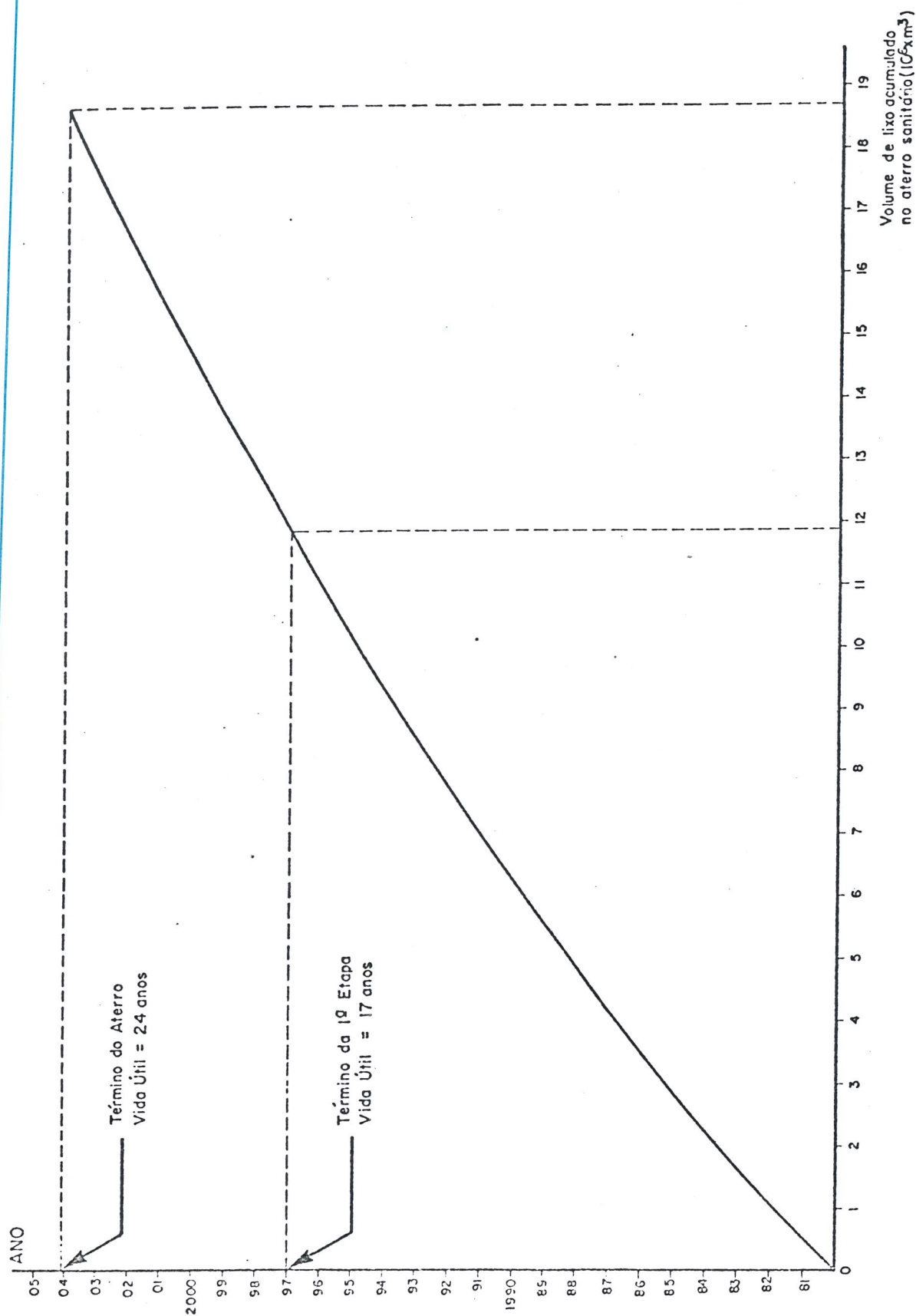


FIG Nº 6.3.2 PREENCHIMENTO DAS ÁREAS DO ATERRO SANITÁRIO COM LIXOS DOS MUNICÍPIOS DE SANTOS, SÃO VICENTE, CUBATÃO, GUARUJÁ E PRAIA GRANDE

6.4 - TRANSPORTE DO LIXO

6.4.1 - SISTEMAS DE TRANSPORTE

Como as áreas selecionadas para a execução do aterro sanitário estão próximas à COSIPA e situadas ao longo da Rodovia Cubatão-Piaçaguera, as distâncias a serem vencidas pelos veículos coletores no transporte do lixo recolhido nos municípios de Santos, São Vicente, Guarujá e Praia Grande são consideráveis. Além disso, o transporte do lixo terá que ser realizado através de estradas de difícil trânsito e intenso movimento de veículos como as vias Anchieta, Pedro Taques e Piaçaguera.

Tais fatos acarretam aos veículos coletores de lixo um maior tempo de transporte, ociosidade da mão-de-obra e do próprio equipamento, como também atrasos no término da própria operação de coleta. Como consequência, todo o sistema de coleta e transporte de lixo é onerado em investimentos e em custos operacionais maiores, dada a necessidade de se adquirir um número maior de equipamentos para fazer frente aos serviços.

Tendo em vista os aspectos acima mencionados, é recomendável a adoção de um sistema de transporte de lixo independente do sistema de coleta. Para isso, foram consideradas as possibilidades de transporte por hidrovia, por ferrovia e por rodovia como forma predominante.

a) Transporte hidroviário

O Estuário Santista apresenta numerosos canais e largos internos, formando uma ampla rede fluvio-marítima com três ligações ao mar: Mar Pequeno (Baía de São Vicente), Canal do Porto e Canal de Bertiooga (Barra de Bertiooga).

De um modo geral, todo o sistema estuarino pode ser percorrido por embarcações com calado de 1,4 metros. Há, porém, trechos e canais onde tais embarcações só podem transitar nos momentos de maré favorável.

No entanto, cabe ressaltar que na maioria dos canais principais suas profundidades são pouco conhecidas, bem como as larguras e os raios de curvatura dos canais secundários. Para estes, dispõe-se no momento apenas de informações verbais e futuramente deverão ser realizados reconhecimento locais para confirmação destas informações.

Quanto aos veículos a serem utilizados, poderão ser do tipo automotor, para carga a granel ou transporte de "containers", ou do tipo comboio, com um barco empurrador e chatas, também para cargas a granel ou para "containers".

A seguir, a título informativo, tecem-se algumas considerações preliminares sobre as condições de acesso hidroviário até um ponto próximo à área preconizada do aterro sanitário.

Zona 1 - Rio Santo Amaro - Canal do Porto-Largo do Caneu

O Canal do Porto, prolongado pelo Canal da CO SIPA, tem suas profundidades mantidas artificialmente por dragagem, tendo em vista o trânsito de grandes navios, e por isso não apresenta problemas de navegabilidade para o transporte dos lixos de Santos e São Vicente.

Os resíduos sólidos poderão, portanto, ser conduzidos por via hídrica até um ponto o mais próximo possível do local do aterro sanitário e daí serem removidos para transporte rodoviário.

O Rio Santo Amaro poderá ser eventualmente utilizado para escoamento do lixo do Município de Guarujá, porém suas condições de navegabilidade terão de ser previamente verificadas.

Zona 2 - Rio Piaçabuçu - Largo de São Vicente
- Largo da Pompeba - Rio Casqueiro -
Largo do Caneu ou Rio Piaçabuçu - Lar
go de São Vicente - Rio Santana - Rio
Paranhos - Rio Maria Ribeira - Rio Cas
calho - Largo do Caneu

São as rotas possíveis para o transporte dos
resíduos do Município de Praia Grande.

Pelo Rio Piaçabuçu há condições razoáveis de a
cesso para calado de 1,5 m. O contorno da Ilha de São Vicen
te pode ser feito, em qualquer momento, com embarcações de
1,5 m de calado, havendo porém algumas passagens difíceis no
Largo de São Vicente e Largo da Pompeba. O Rio Santana apre
senta pequenas profundidades, sobretudo na zona de desemboca
dura no Largo de São Vicente. Da mesma forma, o Rio Para
nhos tem condições de navegabilidade muito precárias e o Rio
Maria Ribeira é sinuoso e muito raso.

Os rios Casqueiro e Cascalho são razoavelmente
profundos (acima de 4 metros) e, portanto, apresentam boas
condições de navegabilidade. A maior dificuldade de trânsi
to ocorre sob as pontes ferroviárias e rodoviárias constru
das sobre o Rio Casqueiro, que são bastante baixas, deixando
apenas uma luz da ordem de 1,5 m por ocasião das preamares
de sizígia.

b) Transporte ferroviário

O transporte de lixo por ferrovia foi levado
em consideração dada à razoável rede ferroviária existente
na região (FEPASA e REFESA), que serve inclusive a área sele
cionada neste estudo para a implantação do aterro sanitário
preconizado, bem como a recomendação, por decreto, do Gover
no Federal para a máxima utilização de ferrovias pelas indús
trias siderúrgicas.

Existem três linhas que convergem à área denominada Sítio Areaes e que servem todas as cidades envolvidas. A REFESA, a partir do cais de Santos, possui trilhos com bitola larga (1,6m), passando ao lado da área do aterro. Da mesma forma, partindo do Guarujá, existem as bitolas larga e estreita (3 trilhos). A FEPASA, que serviria o Município de Praia Grande, tem bitola estreita (1,0m) e desta forma ela atinge o local do aterro.

Um dos graves inconvenientes tanto do sistema ferroviário como do hidroviário para transporte do lixo em relação ao rodoviário é a necessidade de manuseio maior dos resíduos ou seja, maior número de operações de transbordo e consequentemente, mais instalações e equipamentos para carga e descarga (caminhão-vagão e vagão-caminhão), o que deverá encarecer consideravelmente a operação de transporte, considerando as curtas distâncias a serem percorridas. O sistema ferroviário também poderia ser previsto para operar no transporte de carretas rodoviárias (sistema "roll on - roll off").

Portanto, seriam precisos equipamentos para viradas de vagões, tratores, carretas e cavalos-mecânicos rodoviário, bem como desvios ferroviários nas estações de transbordo.

Tendo em vista o curto prazo previsto para a realização deste trabalho e a complexidade do estudo do transporte ferroviário, não foi previsto o detalhamento desta alternativa. No entanto, recomenda-se seja esta solução estudada com maior profundidade, após contatos que deverão ser mantidos com as redes ferroviárias em questão.

c) Transporte rodoviário

O transporte por rodovia do lixo coletado nos municípios em estudo é o de maior flexibilidade, dada a existência de um complexo sistema viário, às facilidades de carga e descarga de resíduos e a um menor número de operações

de manuseio do lixo. Como desvantagens, citam-se a sobrecarga desse sistema viário e a deseconomicidade de transporte principalmente quanto ao consumo de combustível do sistema rodoviário em relação ao ferroviário e ao hidroviário.

Tendo em vista, no entanto, o escopo do trabalho em execução (obtenção de GBQ de aterros sanitários - viabilidades técnico e econômica), o transporte por rodovia foi o selecionado para ser estudado com maior profundidade. Se investigações posteriores levarem à adoção de um dos outros dois sistemas preconizados (ferroviário e hidroviário), ou conjugação deles, por ser economicamente preferível, desde que exequível tecnicamente, este fato somente virá favorecer as conclusões deste estudo e, portanto, não o invalida.

Assim sendo, a viabilidade do estudo do sistema de transporte por rodovia é apresentada com maiores detalhes nos itens a seguir.

6.4.2 - ESTAÇÃO DE TRANSBORDO RODOVIÁRIO DE LIXO

Trata-se de uma instalação, situada o mais próximo possível dos pontos de coleta, onde o lixo é transferido dos veículos coletores para veículos de maior capacidade, que têm a função exclusiva de transportá-lo até o local de destinação final. Evidentemente, esse procedimento visa a redução dos custos de operação do sistema de coleta e transporte de lixo, além de propiciar sensíveis reduções no consumo de combustível.

Desta forma, partiu-se para um estudo de implantação de estações de transbordo. Inicialmente, dever-se-á instalar uma estação para receber os lixos de Santos e São Vicente, o que será suficiente, dada a proximidade desses municípios, e outras duas para receberem separadamente os lixos de Guarujá e de Praia Grande, com uma instalação em cada um dos municípios. A cidade de Cubatão está a cerca de 4 km da área selecionada para a construção do aterro e, portan

to, dispensa qualquer tipo de instalação de transbordo.

Os estudos foram norteados de forma a se ter: baixo investimento inicial, simplicidade de operação e economicidade do sistema.

As áreas previamente indicadas para a instalação das estações de transbordo estão indicadas na tabela nº 6.4.1.

6.4.3 - CONCEPÇÃO DA ESTAÇÃO DE TRANSBORDO DE SANTOS

Os estudos técnicos realizados levaram às seguintes premissas:

- a) necessidade de se construir um fosso de acumulação de resíduos para atender a descarga dos veículos de coleta que demandam à estação em curto espaço de tempo e que não devem estar sujeitos a esperas prolongadas para descarga. Outra finalidade do fosso é propiciar o carregamento constante das carretas, a fim de se evitar ociosidade na sua operação, dado o seu alto custo;
- b) carga do lixo, sem passar por equipamentos de compactação, em carretas de 70 m³ de capacidade;
- c) sistema de carga nas carretas constituído por tratores do tipo escavadeira hidráulica, com lança monobloco de 4,50 m e braço de retro-escavadeira de 3,50m, e com adaptador para multigarra. O motor a óleo Diesel da máquina deverá ser substituído por um motor elétrico de 75 CV;
- d) reboque das carretas até o aterro por cavalo-mecânicos com dois eixos traseiros tracionados.

Basicamente, a instalação prevista é composta

TABELA Nº 6.4.1
INFORMAÇÕES PRELIMINARES PARA ESTUDO DE TRANSBORDO

Município	Local de transbordo	Distância rodoviária km	Quantidade de lixo (*)	
			t/dia	m ³ /dia (**)
Santos e São Vicente	Alemôa (Santos)	16	617	1 762
Guarujá	Jardim Primavera	29	185	528
Praia Grande	Vila Sonia	31	153	437

(*) Média diária para início de operação

(**) Peso específico aparente adotado para o lixo colocado no fosso da estação de transbordo 0,35 t/m³.

por duas linhas de operação, cada uma delas constituída de:

- . um fosso de capacidade rasa - 700 m^3 , com 7,0 m de largura, 25,0 m de comprimento e 4,0 m de profundidade;
- . uma máquina escavadeira hidráulica como sistema de carga em carreta;
- . pátio para manobras e descargas de até oito veículos coletores simultaneamente;
- . pátio para estacionamento de uma carreta de transporte.

Portanto, a capacidade total do sistema é de $1\ 400 \text{ m}^3$, o suficiente para armazenar cerca de 80 % do lixo total coletado em um dia, em Santos e São Vicente.

As duas escavadeiras previstas deverão estar assentadas sobre trilhos ao longo dos fossos, o que lhes confere mobilidade para atuar nos dois fossos, conforme a necessidade, em caso de parada de uma delas para manutenção, já que se previu uma produtividade, por máquina, para processamento de $100 \text{ m}^3/\text{h}$ de lixo.

No orçamento efetuado, previu-se a construção de acessos e pátio de estacionamento pavimentados, portaria com sanitários, vestiários, escritório e balança para pesagem e controle dos veículos de coleta. Previu-se também a instalação de uma cabine abaixadora de tensão, dada a potência elétrica instalada.

6.4.4 - CONCEPÇÃO DAS ESTAÇÕES DE TRANSBORDO DE GUARUJÁ E PRAIA GRANDE

Dada a similaridade das informações preliminares para ambos os municípios, isto é, os valores das quantidades

dades diárias de lixo a ser transferido e as distâncias de transporte serem semelhantes, e tendo em vista a concepção modular da estação de transbordo de Santos, partiu-se para instalações de transbordo dos lixos dos municípios de Guarujá e Praia Grande iguais a uma linha de operação da estação de Santos.

Como consequência, tem-se o barateamento do projeto, além das vantagens que este tipo de padronização oferece. Quando, por exemplo, houver necessidade de ampliações futuras, bastará que se construam módulos idênticos. Os veículos de transporte deverão constituir-se no "gargalo" do processo de transferência de lixo, o que evitará, o quanto possível, a ociosidade deste equipamento, diminuindo-se, portanto, os custos operacionais.

6.4.5 - OPERAÇÃO DAS ESTAÇÕES DE TRANSBORDO

Os resultados dos cálculos efetuados visando à operação das estações de transbordo dos municípios de Santos, Guarujá e Praia Grande estão resumidos na tabela nº ... 6.4.2.

A mão-de-obra alocada nos serviços de transbordo de lixo deverá ser composta de encarregados, operadores de escavadeira hidráulica, balanceiros, anotadores e serviços, além dos motoristas dos conjuntos cavalo-mecânico e carreta.

A vida útil avaliada para os equipamentos é a seguinte: carretas e escavadeiras hidráulicas - 5 anos e cavalos-mecânicos - 10 anos.

TABELA Nº 6.4.2
DADOS BÁSICOS DE OPERAÇÃO DAS ESTAÇÕES DE TRANSBORDO

Ítem \ Município	Santos São Vi- cente (conjunta)	Guarujá	Praia Grande
. Quantidade inicial de lixo processado (t/dia - operação 25 dias/mês)	617	185	153
. Volume de lixo (m ³ /dia)	1 762	528	437
. Tempo total de ciclo das carretas, para carga, descarga e percurso (minutos)	169	231	241
. Turnos de operação previsto da estação de transbordo	3	1	1
. Número necessário de carretas, inclusive veículos de reserva (50%)	6	3	3
. Número médio de viagens/dia, por carreta	4,2	2,5	2,1
. Quantidade média de lixo transportado por carreta (m ³ /dia)	294	175	147
. Mão-de-obra da estação de transbordo (nº de pessoas)	26	12	12
. Motoristas (nº de pessoas)	18	3	3

7 - ESTUDOS DE VIABILIDADE TÉCNICA DO EMPREENDIMENTO

Em alguns aterros de resíduos sólidos urbanos ocorrem improvisações de moradores das vizinhanças dos mesmos para aproveitar parte do GBQ para usos específicos. Tal prática é favorecida pela circunstância que todo aterro de lixo, independentemente de qualquer providência indutora, produz GBQ, o qual normalmente se dissipa na atmosfera.

A bibliografia citada revela um grande número de experimentos realizados, particularmente nos Estados Unidos e na Europa, com vistas a determinar parâmetros de comportamento de uma massa de lixo em processo de bio-estabilização.

Dentre as pesquisas publicadas, tem destaque o trabalho realizado na Califórnia, nas proximidades de Los Angeles, no aterro controlado de Palos Verdes.

Esta pesquisa, financiada pela EPA - "Environmental Protection Agency", procurou aproveitar um grande aterro de lixo para produzir gás natural substituto (metano praticamente puro) para injetá-lo na rede de distribuição do sistema público de gás canalizado.

A tecnologia adotada foi a construção de poços no aterro, sua interligação e o bombeamento do gás; o GBQ era em seguida tratado para a retirada do gás carbônico, uma vez que os sistemas de distribuição de gás nos Estados Unidos são dimensionados para GN - gás natural e as especificações da companhia de gás exigiam um produto semelhante ao GN.

Este experimento tem servido de modelo a inúmeros outros projetos nos Estados Unidos e também no Brasil: no Rio de Janeiro funciona o aproveitamento do aterro do Caju,

operado pela CEG - Companhia Estadual de Gás, e em São Paulo funciona, experimentalmente, a instalação no aterro do km 14,5 da Rodovia Raposo Tavares, operada pela COMGÁS - Companhia de Gás de São Paulo. Nos aproveitamentos brasileiros não é feita a separação do gás carbônico.

Esta tecnologia, a par das inúmeras constatações de natureza técnica que proporcionou, tem um grave inconveniente: ela não impede que uma parcela apreciável de GBQ se dissipe pela superfície superior dos aterros, já que a sucção não pode ser demasiada por causa do risco de ser aspirado ar atmosférico, portanto oxigênio, que em contato com o metano pode criar misturas explosivas ou inflamáveis, além de introduzir nitrogênio, gás inerte, portanto redutor do poder calorífico da mistura.

Apesar dos resultados econômicos interessantes revelados pela pesquisa de Palos Verdes, esta tecnologia, bem como todas as outras encontradas na bibliografia específica, não podem deixar de ser rotuladas como "curiosidade tecnológica", haja vista que, em nenhum caso, procurou-se maximizar o empreendimento como fonte alternativa de energia. Deu-se muita ênfase a aspectos técnicos intrínsecos sem procurar uma fórmula de, em conjunto, minimizar as perdas por dissipação e maximizar a produção de GBQ por recirculação de líquidos percolados ou mesmo água, já que há experiências que demonstram grande sensibilidade dos aterros em termos de aumento da produção de GBQ, por aumento da umidade após chuvas intensas.

7.1 - TECNOLOGIA ADOTADA NA EXECUÇÃO DO ATERRO SANITÁRIO

A tecnologia adotada neste estudo foi desenvolvida em São Paulo, a partir de 1979, pela empresa de consultoria HICSAN LTDA., para a Prefeitura da capital, ao serem projetados dos dois grandes conjuntos de aterros sanitários em locais próximos de áreas urbanizadas. O respeito ao bem estar das populações vizinhas aos aterros, assim como as exigências do Governo do Estado (Lei 997 e Decreto 8468) relativas à poluição ambiental, motivaram o desenvolvimento de projetos que deveriam atender às seguintes premissas:

- Eliminar a poluição causada pelos líquidos percolados;
- Eliminar a poluição atmosférica causada pelos gases de fermentação de lixo;
- Aproveitar, na medida do possível, a energia contida nos gases.

Os estudos conduziram a projetos que estão esquematizados nas figuras nº 7.1.1 (Esquema Longitudinal) e nº 7.1.2 (Esquema Transversal).

Na realização do projeto de aterro sanitário, devem-se destacar os seguintes pontos:

- Os líquidos percolados serão captados através de drenos localizados na parte inferior dos aterros e conduzidos ao sistema de tratamento;
- O sistema de tratamento constará de lagoas de estabilização em série (anaeróbia + facultativa + maturação) durante a fase de construção dos aterros. Apesar da elevada DBO (demanda bioquímica de oxigênio) dos líquidos percolados (cerca de 20 000 mg/l), sua vazão poderá ser reduzida mediante desvio adequado de águas pluviais, evitando-se assim volume elevado de

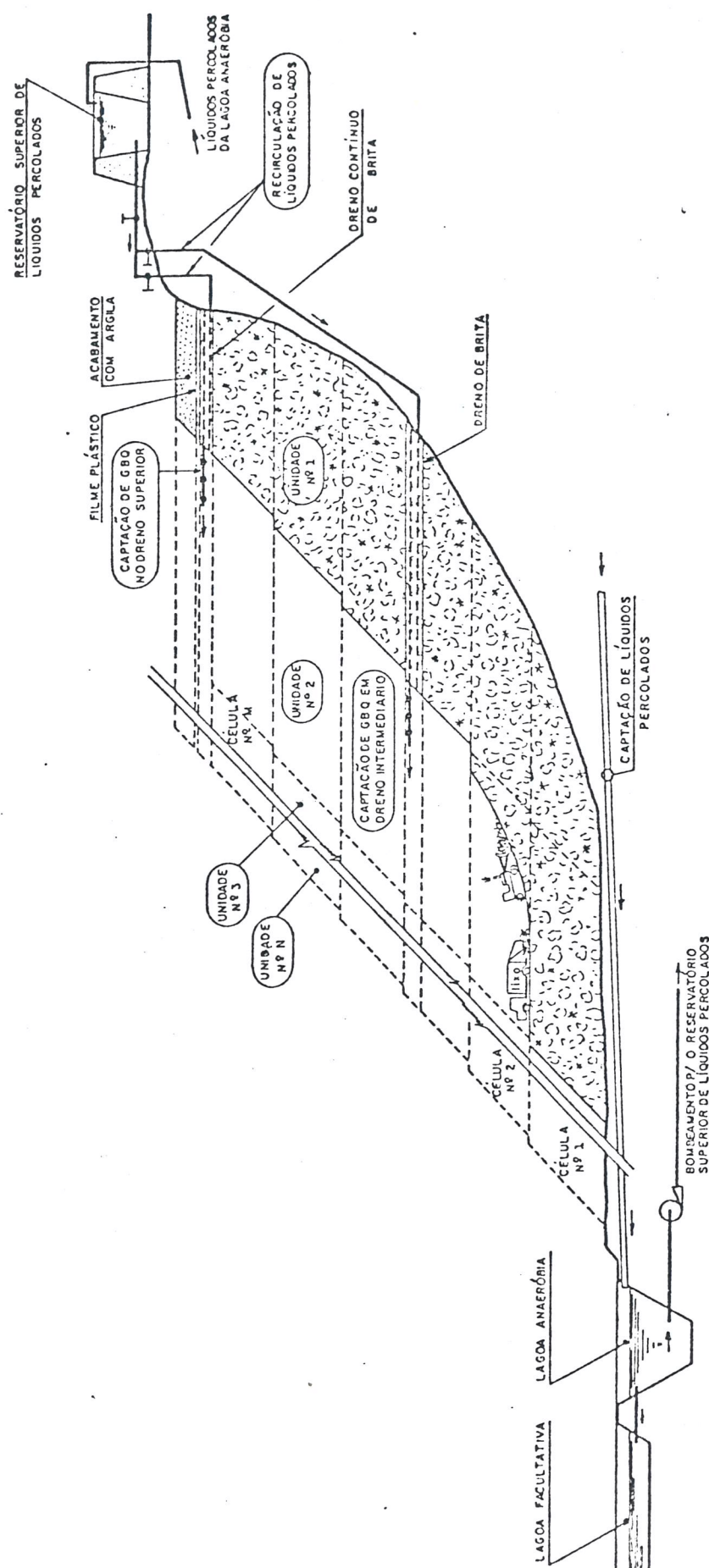


FIG.Nº 7.1.1.-ESQUEMA LONGITUDINAL DO ATERRO SANITÁRIO COM APROVEITAMENTO DE GBQ

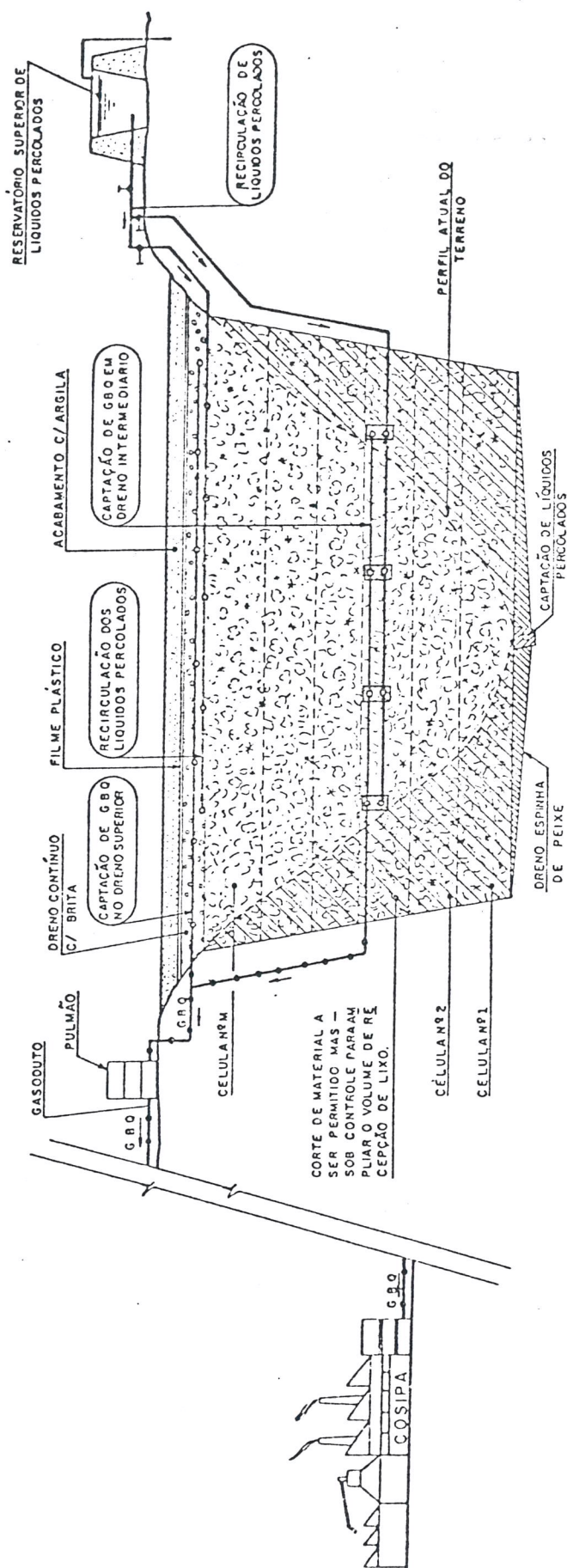


FIG. Nº 7.1.2. — ESQUEMA TRANSVERSAL DO ATERRO SANITÁRIO COM APROVEITAMENTO DE GBQ.

líquido a ser tratado, o que conduziria a instalações de tratamento de proporções impraticáveis;

- Concluídas as etapas úteis dos aterros, os líquidos percolados passarão a ser recirculados para o interior da massa de lixo, percolando novamente. Neste novo trajeto, os líquidos atuarão como ativadores dos fenômenos bioquímicos produtores de gás. Parte dos líquidos evaporar-se-ão, devendo ser substituída por água ou por esgotos ou, ainda, por resíduos líquidos industriais orgânicos, que poderão ser armazenados nas lagoas que, nesta fase, ficarão dispensadas da função de tratar líquidos percolados, a não ser como segurança em casos de emergência. No caso específico deste projeto, deverá ser estudada a viabilidade de recircular um caldo de aguapé triturado, oriundo da represa Billings;
- Os aterros deverão ser construídos em células com 5 metros de espessura e cobertura mínima com argila (15 a 30 cm). Esta cobertura será removida por ocasião da execução da célula superior, misturando-se a argila com o lixo ao ser este acondicionado na nova célula em execução. Serão evitados, assim, compartimentos estanques que dificultarão a descida dos líquidos e a subida dos gases;
- Os gases serão drenados através de sistema combinados de drenos verticais e horizontais. Os verticais serão executados em conjunto com os aterros, estarão distantes cerca de 50 metros entre si e serão feitos com formas deslizantes, no interior das quais se montarão tubos de drenagem de concreto seguidos de um anel de pedra britada;
- A cada duas ou três células serão projetados drenos horizontais intermediários, no interior dos quais, protegidos por brita revestida externamente com geomembranas sintéticas, serão lançadas duas tubulações

ranhuradas, uma para recirculação dos líquidos percolados e outra, alguns centímetros acima, para captação de GBQ;

- Na superfície superior final dos aterros serão construídos drenos contínuos de pedra britada, com 15 cm de espessura, cobrindo todo o aterro;
- Sobre estes drenos serão colocadas geo-membranas sintéticas para proteção dos filmes plásticos dispostos a seguir. Em seguida, será feita a proteção final com 1 metro de espessura de argila. Na superfície da camada final será aplicada hidro-semeadura para evitar erosão, assim como implantado um eficiente sistema de coleta de águas pluviais;
- No interior do grande dreno horizontal, assim como nos intermediários, serão instaladas duas redes distintas de tubulações ranhuradas: uma para recirculação dos líquidos percolados e outra para captação de GBQ-gás bioquímico;
- Para reduzir perdas de GBQ por dissipação, os aterros deverão ter um desenvolvimento vertical predominante sobre o horizontal. Assim, deverão ser construídos módulos ou unidades constituídos de várias células superpostas. Estes módulos deverão conter os resíduos sólidos aterrados durante o período de um ano, já que a partir do segundo ano tais módulos deverão estar fornecendo GBQ ao sistema de captação e transporte de gás. Na conformação do aterro sanitário, tais unidades serão construídas em justaposição, constituindo-se cada módulo em um sub-sistema autônomo de geração de GBQ.

7.2 - CARACTERIZAÇÃO DO GÁS PROVENIENTE DO ATERRO SANITÁRIO

O gás gerado pela decomposição anaeróbia do lixo caracteriza-se por ser uma mistura gasosa cujos componentes predominantes são o metano e o dióxido de carbono.

Das análises realizadas em amostras de GBQ dos aterros do km 14,5 da Rodovia Raposo Tavares e do Caju, onde se encontram as estações de captação de gás da Companhia Municipal de Gás de São Paulo - COMGÁS e da Companhia Estadual de Gás do Rio de Janeiro - CEG, obteve-se a composição química do mesmo, que está apresentada na tabela nº 7.2.1.

TABELA Nº 7.2.1
 COMPOSIÇÃO QUÍMICA DO GBQ EM ATERROS NACIONAIS

Componente	Porcentagem em volume. (%)	
	Fonte: COMGÁS	Fonte: CEG
CH ₄	61,9	59,2
CO ₂	36,7	32,2
O ₂		0,2
N ₂		8,4
O ₂ + N ₂	1,4	
H ₂ S	10 ⁻³	...
H ₂	traços	...

Observação: (...) cifras não encontradas.

Dos dados obtidos verifica-se que o metano contribui com cerca de 60% em volume dessa mistura, e os restantes 40% são constituídos praticamente pelo dióxido de carbono, que é um gás inerte. Nota-se uma participação desprezível

de outros componentes, principalmente os de enxofre.

A porcentagem relativamente elevada de nitrogênio en contrada nas amostras analisadas do gás do aterro da CEG é explicada pela penetração de ar no interior do aterro sanitário, devido à sucção. Sendo o nitrogênio um gás inerte, tem-se que é agravado pelo fato de o oxigênio presente atuar como inibidor do processo de metanização.

O inconveniente da penetração de ar nos aterros deve rá ser eliminado com a tecnologia adotada no atual projeto, que prevê a impermeabilização da superfície do aterro.

Ainda segundo as mesmas fontes, COMGÁS E CEG, foi ob servado que a composição química do gás do aterro sofre pe quenas variações durante o período de operação de suas usi nas de captação de gás dos aterros.

O valor do poder calorífico do GBQ encontrado nos a terros de São Paulo e Rio é mostrado na tabela nº 7.2.2 e tem apresentado valores que permitem que se adote como refere rência para este estudo o valor de 5 800 kcal/Nm³.

TABELA Nº 7.2.2
PODER CALORÍFICO DO GBQ EM ATERROS NACIONAIS

Fonte	COMGÁS	CEG
Poder calorífico superior (kcal/Nm ³)	5 810	5 640

O GBQ constitui-se, portanto, em uma mistura gasosa com poder energético 22% acima do gás manufaturado que é distribuído na cidade de São Paulo, cujo poder calorífico superior é de 4 750 kcal/Nm³. Sua densidade está em torno de 0,88 (densidade do ar = 1), que o classifica como um gás combustível leve.

A ausência de monóxido de carbono ou outro contaminante tóxico confere ao gás bioquímico do aterro o caráter de não toxicidade, e a presença de frações mínimas de derivados sulfúricos apresenta-o como gás não poluente, isento de odores desagradáveis.

Somando-se às qualidades intrínsecas do produto o fato de que a produção de GBQ do aterro sanitário se mantém regular por um período muito longo, bem como suas qualidades físico-químicas permanecem estáveis durante este tempo, qualifica-se o gás de aterros sanitários como um combustível substituto dos derivados de petróleo.

Pela própria característica do processo de produção de GBQ nos aterros sanitários, que necessita de um teor de umidade acima de 40%, a mistura gasosa que se obtém é saturada. Esse teor de umidade deverá ser reduzido durante as fases de captação, condicionamento e transporte, por simples separação do condensado.

Não se faz necessário outro tratamento adicional no sentido de se alterar as qualidades físico-químicas do GBQ.

A secagem do gás ou a redução da porcentagem de gás carbônico só irá acarretar perdas energéticas e aumentar o número de equipamentos necessários. Providências nesse sentido só se justificariam se for necessário compatibilizar o GBQ com outros sistemas de distribuição de gás.

No futuro, dependendo de novas aplicações a serem dadas ao GBQ, que não exclusivamente como combustível, pode-se pensar em processos de secagem e retirada de gás carbônico.

O nível dessa purificação deverá ser o suficiente para manter o poder calorífico do gás dentro dos valores desejáveis.

Mas, uma vez dimensionadas as quantidades a serem extraí

das, o gás bioquímico de aterro não deverá sofrer grandes alterações em sua qualidade, ao longo do tempo considerado no estudo de viabilidade, mesmo porque a tecnologia adotada permite grande flexibilidade para intervenções através da introdução de umidade, nutrientes e matéria orgânica em fase de decomposição, para o interior da massa de lixo geradora de GBQ.

7.3 - TRANSPORTE DO GÁS.

Após a captação do GBQ do interior do aterro sanitário que funciona como reator bioquímico ou digestor, a ser procedida por mecanismos engenhosos desenvolvidos pela tecnologia adotada, o GBQ será transferido para a usina (COSIPA) por meio do sistema de transporte do gás, constituído de instalações de sucção, compressão, desumidificação e do gasoduto, a seguir discriminado:

- INTERLIGAÇÃO AOS DRENOS DE GÁS

Uma série de tubos de aço fará a interligação dos drenos de gás do aterro sanitário até o coletor de gás, no pátio de condicionamento. Essas tubulações irão trabalhar a pressões negativas, devido à sucção dos compressores. Em seus pontos baixos, serão colocados coletores de condensado. Essas tubulações deverão ser enterradas e dotadas de sistema de proteção catódica.

- COLETOR DE GÁS

É um recipiente de aço cilíndrico horizontal que receberá as várias tubulações do aterro sanitário, centralizando, assim, toda a operação do sistema. Este coletor será aéreo, com inclinação tal que permita a coleta de condensado e irá trabalhar a pressões negativas.

- SEPARADOR DE CONDENSADO

É um equipamento no qual a água do gás saturado é separada deste por impacto em placas ou malhas, onde se condensa. Essa água após recolhida poderá ser introduzida no sistema de recirculação de líquido percolado e reinjetado no aterro.

- COMPRESSÃO

Para tal operação, previu-se a instalação de um conjunto de 4 exaustores/compressores centrífugos ou alternativos que farão a sucção do gás do aterro sanitário e o comprimirá para o gasoduto. Adota-se, para este sistema, dimensionado para atender aos 5 primeiros anos de aproveitamento do GBQ, uma vazão nominal total de $78 \text{ m}^3/\text{minuto}$ e com pressão de saída de 3,5 bar.

- SECAGEM E SEPARAÇÃO DE GÁS CARBÔNICO

Este sistema poderá ser instalado caso se necessite de uma elevação do poder calorífico do GBQ ou a necessidade de se utilizar gás seco para compatibilizá-lo com outros sistemas futuros de produção de gás.

- MEDIÇÃO

Está prevista a instalação de medidores de vazão com a finalidade de se aferir as quantidades emitidas para o gasoduto.

- TRANSPORTE

O gás comprimido será transportado para o consumo por meio de um gasoduto de diâmetro igual a 10 polegadas, dimensionado para uma vazão nominal de $170\,000 \text{ m}^3/\text{dia}$, com pressões iniciais e finais de 3,0 bar e 1,5 bar, respectivamente.

Caso se desejem maiores pressões de utilização, serão instalados sopradores para uso individual.

O gasoduto será de aço, enterrado, dotado de proteção catódica e de coletores de condensado em seus pontos baixos.

- CONTROLE

Está prevista a instalação de um laboratório de controle de gás que fornecerá informações sobre as vazões, pressões, temperaturas e outros dados que possibilitem acompanhar as respectivas quantidades do gás produzido, para a tomada de decisões sobre a operação de todo o sistema.

7.4 - UTILIZAÇÃO DO GÁS BIOQUÍMICO

O GBQ aqui definido apresenta todas as vantagens de utilização de combustíveis gasosos sobre os dois outros tipos: os sólidos e os líquidos.

Os combustíveis gasosos apresentam um maior rendimento por já se encontrarem nas condições de combustão, não havendo, portanto, perdas devidas ao calor de liquefação e de vaporização.

O rendimento de combustão é melhor devido à maior homogeneidade da mistura combustível/comburente.

O caráter aeriforme do gás, que confere ao combustível gasoso compressibilidade, permite que se atue na pressão com que se alimentam os queimadores e na velocidade do gás.

Ainda por ser um fluido compressível, permite uma maior flexibilidade do transporte de energia por unidade de volume.

O gás como combustível proporciona maior facilidade no controle operacional e na manutenção, evitando as incrustações nos queimadores, câmaras de combustão e dutos de escape de gases da combustão. Facilita, também, a mistura com outros combustíveis gasosos, o que não ocorre com os combustíveis líquidos que, ao serem passíveis de mistura, necessitam de reservatórios e sistemas de homogeneização.

Se se comparar aos combustíveis líquidos pesados, tem-se ainda a vantagem de se eliminar os aquecimentos em tanques, os traços de vapor ou óleo térmico nos dutos e o pré-aquecimento para queima.

Em casos de vazamento, o gás bioquímico, pela ausência

cia de monóxido de carbono, não apresenta riscos de toxicidade e pelo fato de ser um gás leve não apresenta problema de acúmulo, dispensando, portanto, sistemas de ventilação adicionais.

Outra importante vantagem a se considerar é o fato de o gás bioquímico poder dispensar reservatórios de armazenamento, dentro de certas faixas de consumo, já que o aterro sanitário poderá funcionar como pulmão. Entretanto, no caso da COSIPA, que já possui gasômetros, estes poderão ser utilizados para armazenamento do GBQ.

O gás bioquímico do lixo poderá ainda ser misturado a outros gases combustíveis que, por seu baixo teor energético ou quantidades produzidas, não sejam hoje utilizados, bastando para tanto o uso de queimadores adequados para a mistura.

O gás do lixo tem, portanto, múltipla utilização e se apresenta como um excelente combustível alternativo e complementar dos derivados de petróleo.

Menos como inconveniente e mais como característica operacional a ser considerada no seu aproveitamento, deve ser ressaltado que a produção de GBQ será proporcional à quantidade de lixo em fermentação, que é variável (crescente) ao longo do tempo, exigindo contínua programação de transporte, armazenamento e utilização de quantidades adicionais de GBQ enquanto durar o sistema.

8 - IMPACTO AMBIENTAL

O destino final dos resíduos sólidos urbanos constitui tarefa potencialmente poluidora do meio ambiente, podendo criar sérios problemas para o ar, solo e principalmente para as águas superficiais e do sub-solo.

Dentre as formas adequadas de destinação do lixo, destaca-se o aterro sanitário como aquela que apresenta vários benefícios sob o ponto de vista de preservação do meio ambiente e da saúde humana, onde se destacam:

- confinamento do lixo em áreas selecionadas, sob condições controladas, minimizando, assim, os problemas ambientais advindos da sua decomposição a céu aberto;
- redução significativa da população de vetores de transmissão de doenças como roedores, insetos e outros animais que, em face da existência abundante de alimento e abrigo, encontram no local de disposição do lixo a céu aberto um ambiente favorável à sua proliferação;
- desaparecimento de problemas urbanísticos e de natureza social decorrentes do estabelecimento de locais de disposição do lixo sem o devido planejamento. Ao longo dos anos, os "lixões" se incorporam às áreas urbanizadas no município e observa-se, na maioria dos casos, o aparecimento de pessoal que, na catação de materiais recicláveis do lixo, busca um meio de subsistência, sujeitando-se a uma forma de sub-emprego degradante que compromete sua saúde e sua condição social e
- recuperação para uso público de extensas áreas inaproveitadas que, subordinadas a um planejamento adequado, poderão representar opções de desenvolvimento e benefícios para a coletividade como áreas de recreação e de prática de esportes.

Ainda com respeito aos problemas relacionados com a má disposição do lixo, há que se salientar a possibilidade de contaminação dos cursos d'água e dos lençóis freáticos pelo líquido percolado através do lixo, bem como os efeitos da produção de gás no meio ambiente. Os principais constituintes do gás gerado em um aterro são o metano e o dióxido de carbono. Outros gases podem também estar presentes, como o sulfeto de hidrogênio. O metano é explosivo somente quando presente no ar em concentrações de 5 a 15%. Desde que no interior do aterro não haja oxigênio, não haverá concentrações críticas de metano, eliminando-se os riscos de explosão. Entretanto, as emissões de metano para a atmosfera podem se acumular em edificações ou outras estruturas fechadas sobre o próprio aterro e nas suas proximidades. Em relação ao dióxido de carbono, a sua dissolução nas águas subterrâneas, com consequente formação de ácido carbônico, pode ocasionar o aumento do teor de minerais na água pela dissolução de minerais das rochas.

Todos estes problemas apresentados são agravados, em muito, em uma região como a Baixada Santista. Sua extensa zona de mangues vai do pé da Serra do Mar até a Ilha de São Vicente, constituindo-se numa faixa que toma lugar nos municípios de São Vicente, Cubatão, Guarujá e Santos.

Através de levantamentos realizados na região, constatou-se a quebra da unidade ecológica em determinados sítios. A degradação da qualidade de água e do sedimento do estuário, assim como a alteração na composição e na estética de vegetação em áreas de mangue evidenciam graves desequilíbrios nestes ecossistemas altamente produtivos, fato este muitas vezes irreversível.

Por outro lado, o processo de urbanização e de desenvolvimento industrial observado na Baixada Santista tem contribuído de forma significativa para a degradação do meio ambiente, acarretando, dentre outros efeitos, uma ocupação

indiscriminada de uma parcela considerável do manguezal e existente. Deve-se ressaltar, ainda, a utilização destas áreas alagadiças para a deposição de lixo de algumas cidades, implicando em um aumento da poluição das águas pelos líquidos percolados.

Em face das considerações feitas e dada à importância da preservação dos valores ambientais das áreas estuarinas e costeiras, tornam-se necessárias medidas eficientes de controle do meio ambiente que possibilitem maximizar os benefícios resultantes de um uso pleno e racional dos recursos hídricos e advindos de uma ocupação disciplinada de suas áreas marginais.

A utilização do solo para o destino final dos resíduos de qualquer natureza está vinculada à observância dos termos do Decreto Estadual nº 8 468 de 8 de setembro de 1976, em seus artigos nºs 51 a 56, e da Portaria nº 53 de 1º de março de 1979 do Ministério do Interior.

Desta forma, considerando a importância do lixo ou resíduos sólidos como veículos de poluição do solo, do ar e das águas, a adoção de aterros sanitários, devidamente projetados e operados, com tratamento ou recirculação de líquidos percolados e captação dos gases produzidos, constitui uma medida satisfatória para o controle da poluição ambiental e proteção à saúde pública.

A recirculação dos líquidos percolados, além de minimizar a poluição ambiental, proporciona um aumento na produção de gás do aterro. Este gás pode ser captado e aproveitado como fonte energética substitutiva tanto para consumo residencial como industrial.

Integrando o crescente número de estudos de novas fontes alternativas de energia, este estudo ora desenvolvido para a Secretaria de Economia e Planejamento engloba, além de seu objetivo principal, a utilização do gás proveniente da

fermentação do lixo como combustível alternativo, a ordenação da coleta e da disposição de lixo nos municípios da Baixada Santista. Este fato contribui em muito para a melhoria da qualidade do meio ambiente, uma vez que serão desativados os lançamentos de resíduos sólidos a céu aberto, muitas vezes em áreas ribeirinhas ou de manguezais.

8.1 - REDUÇÃO DA POLUIÇÃO DAS ÁGUAS

O sistema, como foi concebido, elimina totalmente a poluição das águas de superfície e parcialmente a das águas de sub-solo, através da captação destas águas por meio de um eficiente sistema de drenagem de fundo.

Estas águas (líquido percolado) serão tratadas em lagoas especialmente dimensionadas para tal finalidade, durante a fase de implantação do aterro. Depois, serão recirculadas.

As lagoas funcionarão em série, devendo a "anaeróbia" reduzir o DBO de 20 000 mg/l para 8 000 mg/l (eficiência de 60%); a "facultativa" deverá reduzir a DBO para 400 mg/l e a de "maturação" para valores inferiores a 60 mg/l, ficando assim perfeitamente atendida a legislação estadual de controle da poluição.

Na fase de recirculação, devido ao afastamento das águas de chuva, à impermeabilização de superfície dos aterros e à evaporação no interior das células, haverá necessidade de reposição de água. As lagoas de tratamento desativadas funcionarão como reservatórios para esta água, que poderá ser esgoto doméstico ou industrial, desde que biodegradável.

8.2 - REDUÇÃO DA POLUIÇÃO DO AR

As ações para redução da poluição atmosférica são distintas segundo as fases dos aterros.

Durante a execução do aterro, o mesmo deverá receber cobertura diária de argila (de 15 a 30 cm), o que reduzirá a valores mínimos as emissões de gases incômodos.

Na fase de operação dos módulos do sistema de produção de GBQ, o domínio dos gases passa a ser praticamente absoluto. Existirão ainda focos potenciais de incômodos, que são as lagoas anaeróbias transformadas em reservatórios de recirculação. Estas, devido a suas pequenas dimensões, poderão ser cobertas, caso surjam problemas de maus odores.

O sistema atua ainda indiretamente no controle da poluição do ar, ao oferecer uma alternativa não poluente para o óleo BPF que contém 5% de enxofre. A utilização do gás do aterro sanitário como substituto do óleo combustível diminuirá sensivelmente a emissão de substâncias nocivas ao homem e aos outros seres vivos. A seguir, na tabela nº 8.2.1 são apresentados dados qualitativos e quantitativos destas substâncias emitidas pela queima de diferentes combustíveis.

Observa-se, através da tabela, a significativa redução dos fatores de emissão ao se comparar, por exemplo, a queima da combustão do óleo combustível tipo BPF e do gás natural.

Através dos resultados das análises de gás de diferentes aterros nos EUA e no Brasil, constatou-se a inexistência de compostos de enxofre. Tal fato representa a maior vantagem da utilização deste gás na Baixada Santista onde mensalmente são lançadas na atmosfera 5 000 toneladas de dióxido de enxofre. Deste total, cerca de 3000 toneladas são provenientes da queima de combustíveis, principalmente do óleo do tipo BPF (80%).

TABELA Nº 8.2.1.
FATORES DE EMISSÃO PARA A COMBUSTÃO DE DIFERENTES COMBUSTÍVEIS

Óleo combustível Poluentes atmosféricos	BPF (kg/m ³)	BTE (kg/m ³)	Gás de alto forno (5) (kg/10 ⁶ m ³)	Gás de coqueria (5) (kg/10 ⁶ m ³)	Gás natural (kg/10 ⁶ m ³)
Monóxido de carbono (1)	0,5	0,5	320	320	270
Dióxido de Nitrogênio (1)	7,2	7,2	1920	1920	1920 a 3700
Dióxido de Enxofre (1)	95,0	19,0	-	-	9,6
Trióxido de Enxofre (1)	1,25	0,25	-	-	-
Formaldeído (1)	0,12	0,12	-	-	-
Carvão (1)	2,75	2,75	160	160	290
Propano (1 e 2)	0,008	0,008	-	-	-
n-Butano (1 e 2)	0,008	0,08	-	-	-
Isobutano (1 e 2)	0,03	0,03	-	-	-
n-Pentano (1 e 2)	0,03	0,03	-	-	-
Isômeros do pentano (1 e 2)	0,03	0,03	-	-	-
n-Hexano (1 e 2)	0,07	0,07	-	-	-
Isômeros do hexano (1 e 2)	0,04	0,04	-	-	-
n-Heptano (1 e 2)	0,002	0,002	-	-	-

continua/.

TABELA Nº 8.2.1 (Cont.)
FATORES DE EMISSÃO PARA A COMBUSTÃO DE DIFERENTES COMBUSTÍVEIS

Óleo combustível	BPF ₃ (kg/m ³)	BTE (kg/m ³)	Gás de alto forno(5) (kg/10 ⁶ m ³)	Gás de coqueria (5) (kg/10 ⁶ m ³)	Gás natural (kg/10 ⁶ m ³)
Poluentes atmosféricos					
Isômeros do heptano (1 e 2)	0,02	0,02	-	-	-
Isômeros do octano (1 e 2)	0,03	0,03	-	-	-
Pireno (3)	1580 µg/10 ⁶ BTU	1580 µg/10 ⁶ BTU	-	-	-
Antraceno (3)	650 µg/10 ⁶ BTU	650 µg/10 ⁶ BTU	-	-	-
Fenantreno (3)	2367 µg/10 ⁶ BTU	2367 µg/10 ⁶ BTU	-	-	-
Fluoranteno (3)	3717 µg/10 ⁶ BTU	3717 µg/10 ⁶ BTU	-	-	-
Cádmio (4)	0,004	0,004	-	-	-
Níquel (4)	0,002	0,002	-	-	-
Vanádio (4)	0,005	0,005	-	-	-
Metano (4)	-	-	-	-	48

Referências:

- (1) Environmental Protection Agency (N.C. Office of Air and Water Programs), Compilation of Air Pollutant Emission Factors (Second Edition), Report nº AP42, Apr. 1973.
- (2) H.W. Bucon, J.F. Macko, H.J. Taback (KVB Engineering Inc.), Species Data Manual, Report to U.S. EPA, U.S.A., 1978.
- (3) R.P. Hangebrack, D.J. Von Lehmden, J.E. Meebrer (National Center for Air Pollution Control) Sources of Polynuclear Hydrocarbons in the Atmosphere, U.S.A., 1967.
- (4) D. Anderson (Office of Air Quality Planning and Standards, U.S.EPA), Emission Factor of Traces Substances, U.S.A., 1973.
- (5) Estudos dos Problemas Relativos à Poluição do Ar, Contrato COSIPA/CETESB, vols. 1 a 7, 1977/78.

8.3 - REDUÇÃO DA POLUIÇÃO DO SOLO

A adoção do aterro sanitário conjunto para dispor os resíduos sólidos gerados na Baixada Santista disciplinará o destino final do lixo, eliminando os vazadouros existentes nos municípios e as dezenas de pequenas descargas a céu aberto que estão a criar sérios problemas de poluição do solo com reflexos no ar (fumaça) e na água (líquidos percolados e sólidos suspensos).

CETESB - CIA. DE TECNOLOGIA E SANEAMENTO AMBIENTAL
BIBLIOTECA

9 - ESTUDOS DE VIABILIDADE ECONÔMICO-FINANCEIRA DO EMPREENDI
MENTO

9 - ESTUDOS DE VIABILIDADE ECONÔMICO-FINANCEIRA DO EMPREENDI MENTO

O aproveitamento do lixo tem sido objeto de inúmeros estudos, dos quais se pode concluir que cada situação é um caso diferente que conduz a distintas conclusões. No presente estudo, concluiu-se que o uso de GBQ pela COSIPA é altamente rentável, além de trazer consideráveis benefícios sanitários e ecológicos para a população e à região da Baixada Santista. De fato, salientam-se como benefícios:

- Alta rentabilidade econômico-financeira do empreendimento.
- Garantia de suprimento de combustível fluido.
- Economia de óleo combustível para o País.
- Imagem da COSIPA como cooperadora na substituição de vetores energéticos escassos.
- Solução de problemas sanitários para as populações locais.
- Preservação da ecologia dos mangues.

No presente estudo de viabilidade econômico-financeira foram simulados três cenários distintos, a saber:

- CENÁRIO I - Compra à vista, em 1981, de todas as áreas do Sítio Areaes, áreas selecionadas para a execução do empreendimento.
- CENÁRIO II - Compra das sub-áreas (III, IV e do acesso) previstas para a execução da primeira etapa do empreendimento em 1981 e a compra das áreas (I e II) para a segunda etapa, 16 anos depois, ou seja, em 1997.
- CENÁRIO III - Financiamento do investimento inicial (todos os desembolsos efetuados nos três primeiros anos) para pagamento em dez anos,

com dois anos de carência, em prestações iguais (tabela Price) e com juros de 8% ao ano, mais correção monetária plena. A compra das sub-áreas será efetuada em duas etapas, conforme explicado no cenário II.

Para a estruturação destes cenários foram adotadas algumas premissas, a seguir apresentadas:

- a) Todos os valores são a preços constantes de outubro de 1980;
- b) Adotou-se uma posição conservadora em relação aos terrenos para o aterro sanitário, desprezando-se o seu valor residual e não se considerando outros benefícios, tais como a extração de terra para uso da própria COSIPA;
- c) O custo do terreno de Alemôa, previsto para a construção da estação de transbordo do lixo de Santos e São Vicente, foi considerado nulo, tendo em vista que o mesmo é de propriedade da Prefeitura de Santos e não tem uso alternativo, não lhe correspondendo pois, nem custos privados, nem sociais;
- d) A estimativa projetada de produção de lixo foi feita por meio de uma regressão linear, considerando-se os aspectos de sazonalidade próprios para a região em estudo. Com isto, a taxa de crescimento diminuiu para um futuro mais distante. Isto vem ao encontro da segurança, conduzindo a benefícios mais conservadores, além de refletir projeções de uma certa convicção de saturação da região no referente ao crescimento demográfico;
- e) A produção de GBQ foi estimada ano a ano por meio de um cálculo ponto a ponto da integral de convolução

perfil de produção de GBQ ao longo do tempo e do per
fil de disponibilidade de lixo ao longo do tempo;

- f) Um benefício eventual adicional de aproveitamento de gás de alto forno misturando-o ao GBQ, valorizando assim um elemento atualmente sem valor, foi despreza
do por implicar em estudos que ultrapassem o objeti
vo do presente trabalho;
- g) Recomendam-se estações de transbordo de lixo e trans
porte em carretas de grande capacidade, pois:
- apresentam economicidade do ponto de vista global e se justificam para o transporte de lixo a distân
cias superiores a 15 quilômetros;
 - permitem uma economia de combustível (óleo diesel) em caminhões para transporte do lixo;
 - contribuem para minimizar o problema de circulação e congestionamento das estradas;
 - reduzem os desgastes dos caminhões de coleta e gas
tos com pessoal que onerariam as prefeituras. As
sim, garante-se um maior interesse das mesmas pe
lo empreendimento;
 - servem de "pulmão" de armazenamento para situações de "pico", permitindo maior flexibilidade nos ser
viços de coleta;
- h) A receita oriunda da produção de GBQ foi considerada, nos cálculos, como sendo contabilizada a partir de 1984, quando toda a infra-estrutura para o aproveita
mento do gás já se encontrar em condições operacio
nais, apesar do início da produção do GBQ estar pre
visto para 1982.

No que tange à extensão dos investimentos a serem efe
tuados pela COSIPA, formularam-se as seguintes hipóteses:

HIPÓTESE 1 - Todos os desembolsos a cargo da COSIPA, ou seja, investimento e operação do aterro (incluindo gasodutos), do transporte por carretas, e das estações de transbordo.

HIPÓTESE 2 - Por conta da COSIPA o aterro (investimento e operação, incluindo gasodutos), o transporte por carretas (investimento e operação) e as estações de transbordo (operação) e por conta das PREFEITURAS os investimentos das instalações fixas de transbordo.

HIPÓTESE 3 - Por conta da COSIPA o aterro (investimento e operação, incluindo gasodutos) e por conta das PREFEITURAS o transporte por carretas e estações de transbordo (investimento e operação).

Para o cálculo das receitas do empreendimento considerou-se a valorização do GBQ de três maneiras distintas, a saber:

HIPÓTESE 4 - Com base no preço do óleo combustível utilizado pela COSIPA.

HIPÓTESE 5 - Com base no preço do óleo combustível mais um acréscimo de 15%, prevendo uma redução no seu subsídio.

HIPÓTESE 6 - Com base no preço do gás de nafta produzido e vendido pela Companhia Municipal de Gás - COMGÁS.

9.1 - ALTERNATIVAS

A combinação das hipóteses formuladas para cada um dos cenários gerou um leque de 27 (vinte e sete) alternativas econômico-financeiras, enumeradas e apresentadas na tabela nº 9.1.1.

TABELA Nº 9.1.1
ALTERNATIVAS CONSIDERADAS

Cenários	Alternativas			
	Valorização do GBQ Extensão dos Investimentos	Preço Oficial Óleo Combustível (Hipótese 4)	Preço do Óleo Combustível mais 15% (Hipótese 5)	Preço do Gás de Nafta (Hipótese 6)
Cenário I	Hipótese 1	A-1	A-2	A-3
	Hipótese 2	A-4	A-5	A-6
	Hipótese 3	A-7	A-8	A-9
Cenário II	Hipótese 1	A-10	A-11	A-12
	Hipótese 2	A-13	A-14	A-15
	Hipótese 3	A-16	A-17	A-18
Cenário III	Hipótese 1	A-19	A-20	A-21
	Hipótese 2	A-22	A-23	A-24
	Hipótese 3	A-25	A-26	A-27

Para as 27 alternativas consideradas foram calculados os seguintes parâmetros: investimentos necessários, custos operacionais, receitas, fluxos de caixa e taxas de retorno, os quais estão detalhados nos itens seguintes.

9.2 - INVESTIMENTOS NECESSÁRIOS

Na estimativa dos investimentos necessários ao empreendimento foram utilizados dois processos de avaliação.

O primeiro processo consistiu na consulta direta fornecedores e a publicações especializadas, tais como: Revista Transporte Moderno, Revista Construção São Paulo e Editais de Concorrência da Prefeitura do Município de São Paulo. Todas as cotações de preços, obtidas destas fontes de consulta, foram acrescidas em 10% por conta de eventuais imprevistos, e foram utilizadas na estimativa dos investimentos para terrenos, estudos e projetos, estações de transbordo e transporte e construção do gasoduto, bem como nos custos operacionais das estações de transbordo e transporte.

O segundo processo utilizou como base de cálculo os custos do projeto do aterro sanitário Sapopemba I, realizado para a Prefeitura do Município de São Paulo, cujos valores foram corrigidos, tendo em vista a inflação de janeiro a outubro de 1980. Considerou-se também que a capacidade final estimada para o aterro da COSIPA é de pouco mais que o dobro da capacidade do aterro de Sapopemba I.

Este processo foi utilizado na avaliação dos investimentos necessários à infra-estrutura do aterro, à drenagem e tratamento dos líquidos percolados, bem como nos custos operacionais do mesmo.

A maioria dos investimentos deverá ser realizada em 1981, portanto, só para os investimentos posteriores a esta data é que estão indicados os anos previstos para o desembolso.

- TERRENO

Foram selecionadas para a execução do aterro sanitário da COSIPA sub-áreas localizadas no sítio de Areaes, a saber:

- Sub-áreas I e II - 617 000 m²
- Sub-área III - 620 000 m²
- Sub-área IV - 213 000 m²
- Faixa de terreno para construção de acesso ao aterro - 48 000 m²

Para efeito de cálculo, atribuiu-se às sub-áreas um preço de Cr\$ 600,00/m², que corresponde ao valor médio de mercado fornecido por imobiliárias locais.

Assim, para o cenário I, onde a compra das sub-áreas, equivalentes a 1 498 000 m², foi considerada como realizada à vista e em 1981, o investimento previsto é da ordem de Cr\$ 898,8 milhões.

Para os cenários II e III, onde foi prevista a compra das sub-áreas em etapas, deverão ser negociadas inicialmente as sub-áreas III, IV e do acesso, equivalentes a 881 000 m², cujo investimento calculado é da ordem de Cr\$ 528,6 milhões.

Após 16 anos, ou seja em 1997, previu-se a compra das sub-áreas I e II, equivalentes a 617 000 m², cujo investimento calculado é da ordem de Cr\$ 370,2 milhões.

- PROTEÇÃO, CONTROLE E INFRA-ESTRUTURA

Para a proteção, controle e infra-estrutura necessárias à operação do aterro sanitário, onde se incluem a construção de cercas, estrada de acesso (3 km),

abrigo para balança e vigilantes, instalações elétricas, compra de transformadores e outras obras complementares, foi avaliado um investimento da ordem de Cr\$ 33 milhões.

- DRENAGEM DE LÍQUIDOS PERCOLADOS

O investimento necessário para a execução das obras de drenagem, captação e transporte dos líquidos percolados foi avaliado em Cr\$ 40 milhões.

- TRATAMENTO DE LÍQUIDOS PERCOLADOS

O estudo de viabilidade técnica sugeriu, para o tratamento destes líquidos, a construção de três lagoas e a execução de obras complementares, cujos custos foram estimados em Cr\$ 20 milhões.

- ESTUDOS E PROJETOS

O estudo de viabilidade do empreendimento foi estimado em Cr\$ 5 milhões e o projeto básico do aterro, incluindo os sistemas de tratamento de líquidos percolados, captação, acondicionamento e transporte do GBQ foi avaliado em Cr\$ 10 milhões.

- ESTAÇÃO DE TRANSBORDO E TRANSPORTE

Foram avaliados os investimentos necessários à construção das três estações de transbordo, preconizadas no presente estudo, bem como o número de veículos que transportarão o lixo coletado dos municípios até a frente do aterro. Estes valores estão indicados na tabela nº 9.2.1.

TABELA Nº 9.2.1
INVESTIMENTOS EM ESTAÇÕES DE TRANSBORDO E VEÍCULOS
PARA TRANSPORTE

Item	Município	Santos/ São Vicente (Cr\$/milhões)	Guarujá e Praia Grande (Cr\$/milhões)	Vida útil (anos)
<u>ESTAÇÃO DE TRANSBORDO</u>				
. Obras civis		31,2	19,2	30
. Equipamentos		14,0	7,0	5
. Projeto		3,0	2,0	
. Terreno (área necessária em mil m ²)		0 (28)	0 (15)	
	SUB-TOTAL	48,2	28,2	
<u>VEÍCULOS</u>				
. Cavalo mecânico *LT-111,42 (preço unitário Cr\$ 4,3 mi- lhões)		25,8	12,9	10
. Carreta* SR-3-70 m ³ - LX capacidade média: 2lt de li- xo -(Preço unitário Cr\$ 2,5 milhões)		15,0	7,5	5
	SUB-TOTAL	40,8	20,4	
TOTAL		89,0	48,6	-

OBS.: * Estão computados os veículos de reserva para manutenção e épocas de pico de produção de lixo

- CONSTRUÇÃO DO GASODUTO

A construção do gasoduto está prevista para 1983 e compreende a interligação dos drenos de gás do aterro, coleta, condicionamento e transporte do GBQ até a COSIPA.

O seu orçamento está resumido na tabela nº 9.2.2 e atende à produção estimada até 1988. Nesta data deverá ser feito um investimento adicional de 1,4 milhões em sistemas de compressão e finalmente em 1993 um investimento de 14 milhões (cerca de 25% do inicial) em ampliação de equipamentos e instalações de forma que o sistema possa operar até o horizonte planejado do empreendimento.

TABELA Nº 9.2.2
ORÇAMENTO DO GASODUTO

Item	Valor (Cr\$ milhões)
1 - Interligação Drenos-Coletor	5,7 (11%)
2 - Sistema Coletor de Gás	0,5 (1%)
3 - Sistema de Compressão de Gás	5,0 (10%)
4 - Sistema Separador de Água	1,7 (3%)
5 - Sistema de Controle de Gás	1,9 (4%)
6 - Sistema de Transporte	36,1 (7%)
SUB-TOTAL	50,9 (10%)
Eventuais e Imprevistos (10%)	5,1
TOTAL (1983)	56,0
Adicional em 1988	2,0
Adicional em 1993	14,0
TOTAL GERAL	72,0

9.3 - CUSTOS OPERACIONAIS

Os custos operacionais do empreendimento incluíram os custos de operação do aterro sanitário e das estações de transbordo do lixo de Santos e São Vicente, Guarujá e Praia Grande e estão descritos nos itens a seguir.

- ATERRO SANITÁRIO

O custo operacional do aterro foi calculado considerando-se os custos dos sistemas de proteção e controle, formação de células, recirculação dos líquidos percolados, drenagem e captação do G.B.Q. e drenagem de águas pluviais.

Estes custos somados resultam no custo variável de Cr\$ 211,00 por tonelada de lixo. A tabela nº 9.3.1 mostra estes valores.

TABELA Nº 9.3.1-
CUSTO OPERACIONAL DO ATERRO SANITÁRIO
POR TONELADA DE LIXO

Sistema de	Custo Unitário	
	Cr\$/t	%
Proteção e controle	10,40	4,9
Formação de células	125,00	59,2
Recirculação dos líquidos percolados	4,80	2,3
Drenagem e captação de GBQ	65,40	31,0
Drenagem de águas pluviais	5,40	2,6
TOTAL	211,00	100,0

OBSERVAÇÃO: O custo do sistema de proteção e controle incluiu os custos de aluguel das balanças, de conservação de cercas e do acesso, bem como o pagamento de vigilantes e operadores das balanças.

O custo operacional do aterro sanitário multiplicado pela quantidade de lixo enviado ao aterro resulta no custo anual de operação do mesmo e é apresentado na tabela nº 9.3.2..

- ESTAÇÕES DE TRANSBORDO

As principais características e os custos operacionais referentes às estações de transbordo e ao transporte em carretas estão resumidos na tabela nº 9.3.3. Nesta tabela, para os municípios de Guarujá e Praia Grande, dada a sua similaridade e para facilidade de cálculo, foram utilizados dados cujos valores são a média dos valores dos dados de cada um dos municípios.

Na tabela nº 9.3.4 estão resumidos os investimentos e custos operacionais ano a ano, para a estação de transbordo conjunta dos lixos de Santos e São Vicente e para as estações de Guarujá e Praia Grande iguais entre si.

Tendo em vista que a quantidade de lixo processado e transportado é crescente ao longo do período em estudo e que os veículos, equipamentos e custos operacionais foram calculados para os primeiros cinco anos de operação, a valiam-se que todos os custos operacionais, bem como os investimentos de reposição, aumentarão em 15%, de cinco em cinco anos.

TABELA Nº 9.3.2
CUSTO ANUAL DE OPERAÇÃO DO ATERRO

Ano	Quantidade de lixo aterrado* (t/ano)	C.total de operação (Cr\$ milhões/ano)
1981	313 924	66,2
1982	327 075	69,0
1983	337 891	71,3
1984	353 283	74,5
1985	366 497	77,3
1986	379 730	80,1
1987	392 951	82,9
1988	406 052	85,7
1989	419 312	88,4
1990	432 601	91,3
1991	445 752	94,1
1992	459 088	96,9
1993	472 437	99,7
1994	485 657	102,5
1995	499 078	105,3
1996	512 528	108,1
1997	526 039	111,0
1998	539 425	113,8
1999	553 009	116,7
2000	566 592	119,6
2001	0	0

OBS.: * Quantidade total de lixo aterrado = $8,8 \times 10^6$ t até o ano 2000.

TABELA Nº 9.3.3
CARACTERÍSTICAS E CUSTOS OPERACIONAIS DAS ESTAÇÕES
DE TRANSBORDO

Item	Município	Santos São Vicente *	Guarujá e Praia Grande**
<u>CARACTERÍSTICAS</u>			
a) Número de turnos de operação		3	1
b) Número de funcionários		44	15
c) Número de veículos (cavalo/carreta)		6	3
d) Lixo processado em 1981 (Operação 25 dias/mês) - t/dia		617	169
e) Distância até o aterro - km		16	30
f) Viagem/dia carreta (média 1981 a 1986)		4,6	2,6
g) Total de salários funcionários Cr\$ mil/mês		673	225
h) Custo variável de transporte (peças, combustível) Cr\$/km		22,83	22,83
i) Encargos sociais - % salários		59	59
<u>CUSTOS OPERACIONAIS</u>			
. Salários [gx(1+i) x 12 meses] Cr\$ milhões/ano		13,0	4,3
. Transporte (h x e x f x c x 300 dias x 2 ida/volta)		6,0	3,2
. Energia Elétrica		1,3	0,4
. Manutenção e diversos		1,5	0,5
TOTAL DOS CUSTOS - Cr\$ milhões/ano		21,8	8,4

Obs: (*) Uma única estação de transbordo para Santos e São Vicente

(**) Uma estação de transbordo para Guarujá e outra para Praia Grande.

TABELA Nº 9.3.4
INVESTIMENTOS E CUSTOS OPERACIONAIS DAS
ESTAÇÕES DE TRANSBORDO

Ano	Valor (Cr\$ Milhões)			
	Investimento + Custo de Operação		Total (3 Estações)	
	Santos/ São Vicente (conjunta)	Guarujá e Praia Grande (duas iguais)*	Investi- mento	Operação
1981	89,0	48,6	186	-
1982	21,8	8,4	-	39
1983	21,8	8,4	-	39
1984	21,8	8,4	-	39
1985	21,8	8,4	-	39
1986	58,3	26,4	67	44
1987	25,0	9,7	-	44
1988	25,0	9,7	-	44
1989	25,0	9,7	-	44
1990	25,0	9,7	-	44
1991	101,3	47,3	145	51
1992	28,8	11,1	-	51
1993	28,8	11,1	-	51
1994	28,8	11,1	-	51
1995	28,8	11,1	-	51
1996	77,3	34,8	88	59
1997	33,1	12,8	-	59
1998	33,1	12,8	-	59
1999	33,1	12,8	-	59
2000	33,1	12,8	-	59
TOTAL	761	325	486	926

(*) Os valores referem-se a uma estação

9.4 - RECEITAS PROVENIENTES DA UTILIZAÇÃO DO GBQ

As receitas provenientes da utilização do GBQ foram obtidas pelos produtos das quantidades de gás bioquímico produzido pelo aterro sanitário, em Nm^3/dia , e um preço unitário que foi avaliado mediante as três hipóteses consideradas no item 9.1. Estes preços são os seguintes:

- . preço corrigido do gás de nafta produzido pela COM GÁS - Cr\$ 10,10 por Nm^3 ;
- . preço corrigido do óleo combustível utilizado pela COSIPA - Cr\$ 6,38 por Nm^3 ;
- . preço corrigido do óleo combustível, com acréscimo de 15%, prevendo um possível aumento devido à retirada da parcela do subsídio atualmente existente - Cr\$ 7,34 por Nm^3 .

Os preços básicos iniciais, com base nos preços vigentes na primeira semana de outubro de 1980, foram de Cr\$ 8,273 por Nm^3 de gás de nafta, com poder calorífico de 4750 kcal/ Nm^3 , e de Cr\$ 11,00/kg de óleo combustível, com poder calorífico de 10 000 kcal/kg. Os preços citados acima utilizados para a valorização do GBQ foram obtidos corrigindo-se proporcionalmente em relação aos conteúdos energéticos do GBQ, do gás de nafta e do óleo combustível.

Exemplificando: o gás de nafta tem um poder calorífico de 4 750 kcal/ Nm^3 e custa Cr\$ 8,273/ Nm^3 , resultando um valor de Cr\$ $1,742 \times 10^{-3}$ /kcal. O GBQ a ser produzido tem um poder calorífico esperado de 5 800 kcal/ Nm^3 , de modo que seu valor pode ser estimado em Cr\$ 10,10/ Nm^3 .

O preço do GBQ avaliado pela correção do preço do óleo

combustível é 37% mais baixo que o resultante da avaliação pelo gás de nafta. Apesar de que o GBQ pretenda substituir o óleo combustível BPF consumido pela COSIPA e não gás de nafta, convém salientar que é o subsídio que mantém o preço do óleo baixo e preve-se que tal subsídio deverá ser retirado muito rapidamente. De fato, a COSIPA, ciente deste problema, já vem estudando alternativas energéticas mais caras, do ponto de vista privado, mas que vão em busca de um menor custo social e de uma melhor garantia de suprimento.

A tabela nº9.4.1 resume os resultados dos cálculos efetuados que atestam, ano a ano, as receitas do empreendimento.

TABELA Nº 9.4.1
RECEITAS PROVENIENTES DA UTILIZAÇÃO DO GBQ

Ano	Produção de gás (Nm ³ /dia)	Valor por tipo de apropriação (Cr\$ milhões)		
		Gás de Nafta	Óleo combustível	Óleo combustível (+ 15%)
1981	0	0	0	0
1982	16 350 (*)	0	0	0
1983	32 507 (*)	0	0	0
1984	48 340	178	113	129
1985	64 048	236	149	172
1986	79 476	293	185	213
1987	94 589	349	220	253
1988	109 350	403	255	293
1989	123 716	456	288	331
1990	137 660	508	320	369
1991	151 146	557	352	405
1992	164 132	605	382	440
1993	169 711	626	395	454
1994	175 299	646	408	469
1995	180 939	667	421	485
1996	186 536	688	434	500
1997	192 144	708	447	515
1998	197 765	729	460	530
1999	203 395	750	474	545
2000	209 039	771	487	560
2001	215 246	794	501	576
TOTAL	-	9 964	6 291	7 239

Observação: (*) Em potencial, não considerado no fluxo de caixa

9.5 - RESUMO DOS INVESTIMENTOS E CUSTOS OPERACIONAIS

Os investimentos e custos operacionais relativos ao em preendimento são apresentados de forma resumida a seguir:

INVESTIMENTOS

	Valor (Cr\$ Milhões)	Porcentagem Relativa ao Total em Investimento	Porcentagem Relativa ao Total (Invest + Custo Operac)
a. Terreno	899	57,3%	20,6%
1ª etapa ... 529 (1981)			
2ª etapa ... 370 (1981 ou 1997)			
b. Proteção, controle e infra-es- trutura	33	2,1%	0,8%
c. Drenagem de líquidos percolados	40	2,6%	0,9%
d. Tratamento de líquidos percola- dos	20	1,3%	0,5%
e. Estudos e projetos	15	1,0%	0,3%
f. Estações de transbordo	486	31,1%	11,2%
(Inicialmente 186 e com reposi- ção e ampliação cada cinco anos)			
g. Construção do gasoduto	72	4,6%	1,7%
1ª etapa ... 56 (1983)			
2ª etapa ... 2 (1988)			
3ª etapa ... 14 (1993)			
TOTAL EM INVESTIMENTOS	1 565	100,0%	36,0%

CUSTO OPERACIONAL ATÉ O ANO 2000

	Valor (Cr\$ (Milhões)	Porcentagem Relativa ao Total em Custo Operacional	Porcentagem Relativa ao Total (Invest + Custo Operac)
a. Aterro	1 855	66,7%	42,7%
b. Estações de transbordo e trans- porte	926	33,3%	21,3%
TOTAL DO CUSTO OPERACIONAL	2 781	100,0%	64,0%
INVESTIMENTO MAIS CUSTO OPERACIONAL			
TOTAL	4 346		100,0%

Observação: Todos os valores são a preços constantes de outubro de 1980.

9.6 - FLUXO DE CAIXA E RENTABILIDADE

Para avaliar a rentabilidade do investimento foi calculada a taxa de retorno real (retorno acima da inflação) do fluxo de caixa para as 27 alternativas resultantes da conjugação dos 3 cenários propostos com as 3 hipóteses de receitas e com as 3 hipóteses sobre a extensão dos investimentos.

Na tabela nº 9.6.1 estão sumariados os valores anuais de custos de operação e investimentos, ano a ano e por sistema integrante do empreendimento, até o horizonte estabelecido no ano 2001 e para cada alternativa proposta. Os totais desses valores estão apresentados na tabela nº 9.6.2.

As taxas de retorno calculadas para as alternativas estão apresentadas na tabela nº 9.6.3 e, resumidamente, são os seguintes os resultados obtidos:

CENÁRIO I, que é o mais pessimista, pois admite a compra de todas as áreas realizadas à vista, em 1981, apresentou taxas internas de retorno variando de 6,2% a 17,8% ao ano.

CENÁRIO II, que admite a compra do terreno à vista e em duas etapas, a primeira em 1981 e a segunda em 1997, resultou em taxas de retorno variando de 7,7% a 22,3% ao ano.

CENÁRIO III, que admite a compra do terreno também em duas etapas (1981 e 1997) e todo o desembolso inicial (durante os três primeiros anos) ser efetuado através de financiamento externo, para pagamento em 10 anos, a juros de 8% ao ano, mais correção monetária plena, e com carência de 2 anos, resultando em taxas de retorno variando de 10,0% a 44,6%. A alternativa denominada A-19 (receita baseada no preço do óleo combustível e todo o empreendimento estando a cargo da COSIPA) não foi considerada, pois ela não tem sentido, devido resultar uma alavancagem negativa, isto é, a alternativa cor

TABELA Nº 9.6.1
DESEMBOLSOS ANUAIS (INVESTIMENTOS E CUSTOS OPERACIONAIS) DO
EMPREENDIMENTO PARA AS ALTERNATIVAS PROPOSTAS

Sistema Alternativa Ano	Valor (Cr\$ Milhões)									
	Estação de Transbordo (Incluindo Transporte)		Trans- porte (Carretas)	Aterro Sanitário (Incluindo Gasodutos)		Terreno		Amortização do Financiamento		
	Investi- mento	Operação	Investi- mento	Investi- mento	Operação	Investimento		Investimento Inicial		
	A-1 a A-3 A-10 a A-12 A-20 e A-21*	A-1 a A-6 A-10 a A-15 A-20 a A-24	A-4 a A-6 A-13 a A-15 A-22 a A-24*	A-1 a A-27*	A-1 a A-27	A-1 a A-9	A-10 a A-27*	A-20 e A-21	A-22 a A-24	A-25 a A-27
1981	186	-	81	108	66	899	529	-	-	-
1982	-	39	-	-	69	-	-	71	63	56
1983	-	39	-	56	71	-	-	80	71	65
1984	-	39	-	-	75	-	-	177	159	144
1985	-	39	-	-	77	-	-	187	169	154
1986	67	44	35	-	80	-	-	202	184	170
1987	-	44	-	-	83	-	-	202	184	170
1988	-	44	-	2	86	-	-	202	184	170
1989	-	44	-	-	88	-	-	202	184	170
1990	-	44	-	-	91	-	-	202	184	170
1991	145	51	108	-	94	-	-	202	184	170
1992	-	51	-	-	97	-	-	48	48	48
1993	-	51	-	14	100	-	-	29	29	29
1994	-	51	-	-	103	-	-	-	-	-
1995	-	51	-	-	105	-	-	-	-	-
1996	88	59	46	-	108	-	-	-	-	-
1997	-	59	-	-	111	-	370	-	-	-
1998	-	59	-	-	114	-	-	-	-	-
1999	-	59	-	-	117	-	-	-	-	-
2000	-	59	-	-	120	-	-	-	-	-
2001	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
TOTAL	486	926	270	180	1 855	899	899	1 804	1 643	1 516

* Observação: para as alternativas de A-20 até A-27 não são computados os valores dos três primeiros anos, pois foi tomado como premissa que os investimentos nessas datas foram financiados e, portanto, estão computados nas colunas correspondentes de amortização do financiamento.

TABELA Nº 9.6.2
DESEMBOLSOS ANUAIS TOTAIS DO EMPREENDIMENTO PARA AS
ALTERNATIVAS PROPOSTAS

Alter nati vas Ano	Valor (Cr\$ Milhões)								
	A-1	A-4	A-7	A-10	A-13	A-16	A-20	A-22	A-25
	A-2 A-3	A-5 A-6	A-8 A-9	A-11 A-12	A-14 A-15	A-17 A-18	A-21	A-23 A-24	A-26 A-27
1981	1 259	1 154	1 073	889	784	703	66	66	66
1982	108	108	69	108	108	69	179	171	125
1983	166	166	127	166	166	127	190	181	136
1984	114	114	75	114	114	75	291	273	219
1985	116	116	77	116	116	77	303	285	231
1986	191	159	80	191	159	80	393	343	250
1987	127	127	83	127	127	83	329	311	253
1988	132	132	88	132	132	88	332	314	256
1989	132	132	88	132	132	88	334	316	258
1990	135	135	91	135	135	91	337	319	261
1991	290	253	94	290	253	94	492	437	264
1992	148	148	97	148	148	97	196	196	145
1993	165	165	114	165	165	114	194	194	143
1994	153	153	102	153	153	102	153	153	102
1995	156	156	105	156	156	105	156	156	105
1996	255	213	108	255	213	108	255	213	108
1997	170	170	111	540	540	481	540	540	481
1998	173	173	114	173	173	114	173	173	114
1999	176	176	117	176	176	117	176	176	117
2000	179	179	120	179	179	120	179	179	120
2001	-	-	-	-	-	-	-	-	-
TOTAL	4 346	4 130	2 934	4 346	4 130	2 934	5 271	4 999	3 757

TABELA Nº 9.6.3
RENTABILIDADE DO EMPREENDIMENTO
PARA AS ALTERNATIVAS PROPOSTAS

Cenários	Taxas de Retorno Anuais			
	Valorização do GPQ Extensão dos Investimentos	Preço Oficial Óleo Combustível (Hipótese 4)	Preço do Óleo Combustível mais 15% (Hipótese 5)	Preço do Gás de Nafta (Hipótese 6)
Cenário I	Hipótese 1	6,2%	8,4%	13,4%
	Hipótese 2	7,1%	9,3%	14,4%
	Hipótese 3	11,0%	13,0%	17,8%
Cenário II	Hipótese 1	7,7%	10,3%	16,2%
	Hipótese 2	9,0%	11,7%	17,7%
	Hipótese 3	14,2%	16,6%	22,3%
Cenário III	Hipótese 1	-	12,4%	26,1%
	Hipótese 2	10,0%	15,2%	30,4%
	Hipótese 3	19,4%	25,6%	44,6%

respondente não financiada (alternativa A-10) apresentou taxa de retorno (7,7% ao ano) inferior aos 8% ao ano cobrados de juros na amortização do financiamento.

A esta análise devem-se adicionar todos os outros benefícios mencionados, quais sejam a importância do empreendimento do ponto de vista de programa de substituição de derivados de petróleo, do ponto de vista sanitário e de impacto como esforço na procura de soluções para os problemas nacionais.

O presente trabalho permite que a COSIPA, após negociar os financiamentos necessários para a execução dos serviços com os órgãos competentes e o seu grau de participação no empreendimento, tenha de imediato a resposta quanto à rentabilidade esperada do projeto, que é função da tendência da valorização dos fluidos combustíveis.

10 - LINHAS DE FINANCIAMENTO

10 - LINHAS DE FINANCIAMENTO

O estudo que ora está sendo desenvolvido visa obter gás do lixo coletado na Baixada Santista, pela sua deposição de maneira tecnicamente adequada, em sítio próximo à COSIPA para ser utilizado no processo industrial em substituição de parte do consumo de óleo combustível; dessa forma, o principal objetivo do empreendimento será o de participar na redução do consumo de derivados do petróleo substituindo-o por fonte não convencional.

Este estudo está de acordo com o protocolo assinado entre o Ministério das Minas e Energia (MME), Ministério dos Transportes (MT), Instituto Brasileiro de Siderurgia (IBS), Siderurgia Brasileira - Siderbrás e Conselho de Não Ferrosos e de Siderurgia - Consider, visando criar condições e implementar medidas que permitam substancial redução do consumo, pela siderurgia nacional, de óleos combustíveis derivados do petróleo em uso exclusivo como fonte de calor e racionalizar a sua utilização substituindo por fontes energéticas nacionais.

A grande crise energética pela qual o País está passando obrigou o Governo a intensificar, cada vez mais, a substituição das fontes de energia usualmente utilizadas por alternativas de origem nacional. Para tanto, dentro outras decisões, foram reformuladas as estruturas de financiamento criando-se o Programa de Mobilização Energética para atuar como um instrumento visando a busca de soluções que possibilitem reduções no consumo de combustíveis derivados de petróleo.

Em vista das modificações que foram realizadas, achou-se por bem visitar as entidades usuais de financiamento para verificar, dentro da nova estrutura, como o projeto se enquadraria, tendo-se contatado os seguintes órgãos:

- Secretaria Geral do Ministério das Minas e Energia;
- Secretaria Geral do Ministério da Indústria e Comércio;
- Chefia de Gabinete do Conselho Nacional de Petróleo - CNP
- Chefia de Gabinete da Presidência do Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico - BNDE;
- Chefia de Gabinete da Presidência do Banco Nacional de Habitação - BNH;
- Vice Presidência e Diretoria de Área da Financiadora de Estudos e Projetos - FINEP;
- Chefia de Gabinete da Siderbrás;
- Diretoria de Projetos Industriais do Banco do Brasil.

10.1- LINHAS DE FINANCIAMENTO PARA A IMPLANTAÇÃO DO PROJETO

a) No programa de mobilização energética

A principal fonte de financiamento para projetos de substituição de fontes de energia é o Programa de Mobilização Energética que visa "emprestar cooperação financeira à realização de projetos prioritários vinculados a atividades consistentes com a política do Governo, voltados para a melhor e mais adequada utilização do carvão energético e de outras fontes e formas não convencionais de energia, incluindo o desenvolvimento de pesquisas e de tecnologia".

São definidos como objetivos prioritários pelo programa os projetos usuais diretamente relacionados com as diretrizes e planos governamentais que mobilizem volumes importantes de recursos e tenham impacto substantivo no desenvolvimento nacional, setorial e/ou regional.

O programa abrange basicamente as seguintes linhas:

- carvão energético (mineral e vegetal) - programas integridados;
- produtos de destilação de madeira;
- aproveitamento e conservação da energia solar;
- utilização industrial do hidrogênio;
- bioconversão;
- processos de conservação de energia;
- tecnologia industrial e de infra-estrutura;
- projetos que promovam a economia e a racionalização do uso de fontes energéticas, particularmente de derivados de petróleo;
- outras fontes de energia substitutivas de sistemas de queima de combustíveis derivados de petróleo.

O principal critério estabelecido para se enquadrar é

o da consistência dos projetos com as diretrizes setoriais estabelecidas pelo Governo para o Ministério das Minas e Energia.

Os critérios de prioridade são:

- uso adequado dos recursos naturais renováveis e não renováveis do País, com o desenvolvimento de técnicas adaptadas às suas especialidades;
- significação e validade científica e/ou tecnológica dos objetivos e metodologia proposta no projeto;
- qualificação científica e técnica da equipe responsável pela coordenação e execução do projeto;
- capacitação da entidade e/ou empresa proponente para conduzir e/ou abrigar o projeto básico;
- consistência e viabilidade orçamentárias do projeto;
- necessidade demonstrada do aporte de recursos do programa para a realização do projeto;
- coerência geral do projeto e de seus objetivos, equipes, facilidades administrativas e laboratoriais, orçamento (fontes e usos de recursos), cronogramas de execução e utilização de resultados;
- probabilidade de garantia do empreendimento proposto e/ou possibilidade de consolidação e de continuidade de atividades permanentes resultantes do projeto a apresentado.

As condições gerais do financiamento são:

prazo - até seis anos incluindo um de carência, salvo condições especiais indicadas pelo Ministério das Minas e Energia;

encargos financeiros - juros à taxa de 8% ao ano, exi

gíveis trimestralmente no último dia dos meses de março, junho, setembro e dezembro e na liquidação da dívida;

amortização - após o período de carência, preferentemente, em prestações mensais e sucessivas e, se necessário, em escala crescente;

garantias - as usuais.

O projeto de aproveitamento de energia do lixo na Baixada Santista se enquadra perfeitamente dentro dos objetivos e condições do Programa de Mobilização Energética e, dessa forma, deve-se dirigir o projeto à Companhia Auxiliar das Empresas Elétricas Brasileiras - CAEEB, agente do programa para a fonte alternativa em questão.

Para o ano de 1981, os recursos do programa estão todos com a sua destinação definida, assim, sugere-se que o projeto seja desenvolvido no menor tempo possível a fim de ser encaminhado à CAEEB e, uma vez aprovado, poder dispor dos recursos que serão alocados ao programa em 1982.

b) No Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico

O BNDE poderá se interessar pelo projeto que seria enquadrado dentro do esquema de operações diretas que apresenta as seguintes condições:

financiamento - 60% do montante;

juros - de 8 a 12% ao ano;

correção monetária - plena;

carência - até 18 meses após a implantação;

prazo - 10 anos, podendo excepcionalmente alcançar 20 anos

Os recursos do BNDE para 1981 estão comprometidos, po
rém sempre há a possibilidade de um projeto receber beneplácito
especial.

BIBLIOTECA

10.2 - LINHAS DE FINANCIAMENTO PARA O PROJETO E ESTUDOS DE DESENVOLVIMENTOa) Na Financiadora de Estudos e Projetos -FINEP

O projeto poderá ser financiado, em todas as suas fases, pela FINEP de acordo com as seguintes condições gerais:

limite de participação: até 80%;

carência - até 2 anos;

amortização - até 3 anos;

juro - 7% ao ano;

correção monetária - de 60 a 100% da variação das ORTN no período.

Os estudos de desenvolvimento posteriores à implantação do projeto também poderão contar com o apoio da FINEP nas seguintes condições gerais:

limite de participação - até 80%;

carência - até 3 anos;

amortização - até 9 anos;

juros - 6% ao ano;

correção monetária - de 40 a 100% da variação das ORTN no período.

O apoio financeiro concedido pela FINEP pode ser concedido por uma série de modalidades de operações, tais como:

- financiamento conversível em participação acionária;
- participação acionária;

- participação acionária com cláusula de recompra;
- participação nos resultados do projeto;
- participação nos resultados da empresa;
- linhas de crédito;
- contratos para pesquisa e desenvolvimento de inicia
tiva da FINEP;
- financiamento reembolsável;
- financiamento a fundo perdido.

A determinação do tipo e das condições de financiame
nto obedecerão sempre a um critério de avaliação que conside
ra:

- a importância do projeto em relação às prioridades governamentais;
- o conteúdo científico e/ou tecnológico;
- a existência de benefícios sociais não apropriáveis de forma privada;
- o prazo de maturação e retorno do investimento;
- as garantias oferecidas.

De toda a forma, o processo de apoio financeiro se ini
cia através de uma consulta prévia com as seguintes informa
ções imprescindíveis:

- nome e endereço do proponente;
- tipo do organismo e composição acionária;
- breve histórico e principais atividades a que se de
dica;
- definição sumária dos objetivos e localização do pro
jeto;
- custo orçado;
- prazo previsto;
- recursos humanos.

Uma vez que o projeto se enquadre dentro das priorida

des e diretrizes fixadas, o interessado elabora uma solicitação de enquadramento, constando descrição precisa e detalhada do objetivo do financiamento, incluindo discussão técnica e metodológica, informações, orçamentos, etc., segundo roteiro específico a ser fornecido.

b) No Fundo de Incentivo à Pesquisa Técnico- Científica
- FIPEC do Banco do Brasil

Os estudos de desenvolvimento posterior à implantação do projeto poderão merecer o apoio financeiro do FIPEC nas modalidades de empréstimo com as seguintes condições:

limite de participação - até 80%;

amortização - até 5 anos, incluindo a carência, a partir do término da pesquisa;

carência - até 2 anos;

encargos - correção monetária fixa e não capitalizada, que variará entre 10 a 80% da variação das ORTN, nos 12 meses anteriores à data de admissão de viabilidade da proposta;

garantias - de natureza real;

pagamento - em prestações anuais.

10.3 - AS OUTRAS ENTIDADES CONTATADAS

a) Conselho Nacional do Petróleo

O CNP já financiou em caráter de pesquisa/desenvolvimento a recuperação de gases de aterro de lixo no Rio de Janeiro (CEG) e em São Paulo (COMGÁS), contudo, uma vez que foi definida uma estrutura nova para os programas energéticos, o CNP ficou liberado dessa atribuição que passou para CAEEB.

b) Banco Nacional da Habitação

O projeto não se enquadra nas diretrizes do BNH, mesmo sob o enfoque de saneamento ambiental, principalmente na atual conjuntura, onde a sua política está francamente voltada para o financiamento de casas populares.

c) Ministério da Indústria e Comércio

A Secretaria Geral do Ministério da Indústria e Comércio admitiu a hipótese de que o desenvolvimento dos estudos posteriormente à implantação pudessem interessar à Secretaria de Tecnologia Industrial.

10.4 - RECOMENDAÇÕES

Após os contatos com os diversos órgãos governamentais que se dedicam ao financiamento de estudos, da implantação de projetos e das pesquisas/desenvolvimento posteriores, recomenda-se, com referência ao projeto de energia de lixo na Baixada Santista, que:

- a) sejam desenvolvidos os estudos visando o projeto final da implantação no menor tempo possível;
- b) sendo do interesse financiar a realização desses estudos, sugere-se como opção a Financiadora de Estudos e Projetos - FINEP;
- c) sejam desenvolvidos os estudos do projeto de implantação de maneira a possibilitar o enquadramento dentro do roteiro do Programa de Mobilização Energética e, para isso, deve-se contatar a Companhia Auxiliar das Empresas Elétricas Brasileiras - CAEEB.

11 - REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

- 1 - CETESB, "Destinação Final dos Resíduos Sólidos na Baixada Santista", São Paulo, dez. 1979.
- 2 - SERETE S.A., "Sistema de Esgotos Sanitários da Ilha de Santo Amaro", São Paulo, 1977.
- 3 - SERETE S.A., "Plano Diretor de Abastecimento de Água da Região Santos - Peruíbe", São Paulo, 1978.
- 4 - JULLIEN J., "Les Progrès Techniques Récents dans les Installations d'Incinération de Résidus Urbains et les Améliorations dans la lutte contre la Pollution", in T.S.M. L'Eau, juillet 1978, p. 363 - 373.
- 5 - MERZ R.C., "Investigation to Determine the Quantity and Quality of gases Produced During Refuse Decomposition", University of Southern California to State Water Quality Control Board, Sacramento, Califórnia, 1964.
- 6 - MERZ R.C. & STONE R., "Special Studies of a Sanitary Landfill", U.S.E.P.A., Cincinnati, Ohio, 1968.
- 7 - RAMASWAMY J.M., "Nutritional Effects on Acid and Gas Production in Sanitary Landfills", Tese apresentada a West Virginia University, Morgantown, W. Va. 1970.
- 8 - ROVERS F.A. & FARQUHAR G.J., "Infiltration and Land fill Behavior", Journal of the Environmental Engineering Division; ASCE, vol.99, nº EE5, Proc. Paper 10047, Oct. 1973, p. 671 - 690.
- 9 - CHIAN E.S.K, DE WALLE F.B. & HANNERBERG E., "Effect of Moisture Regime and Other Factors on Municipal

Solid Waste Stabilization", In management of gas and leachate in Landfills - USEPA - 600/9-77-026, Sep. 1977.

- 10 - U.S. EPA, "National Survey of Community Solid Waste Practices, 1968", U.S. EPA, Cincinnati, Ohio, 1968 .
- 11 - FARQUHAR G.J. & ROVERS F.A., "Gas Production During Refuse Decomposition" Water, Air and Soil Pollution, 2, 483 (1973).
- 12 - FUNGAROLI A.A. & STEINER R.L., "Investigation of Sanitary Landfill Behavior" vol. 1 - Final Report - EPA - 600/2-79-053 a - july 1979.
- 13 - CETESB, "Usina Termoelétrica a Resíduos Sólidos Urbanos da Cidade de São Paulo", 1979.
- 14 - GRIESINGER B., "Quality of Fermentation Gas from Landfills", ISWA Information Bulletin, nº 21, p6-14
. Aterro de Aarau
. Aterro de Hardwald
. Aterro de Baarburg
. Aterro de Uttigem
- 15 - DAIR F.R. & SCHWEGLER R.E., "Energy Recovery from Landfills", Waste Age, March/April, 1974, p 6-10
(Typical Composition of Refuse Gas at 320 CFM With drawal Rate)
- 16 - GOMES I.C., "Gás de aterros Sanitários: o Projeto COMGÁS".
- 17 - COLLINS R.H., "Upgrading Landfills Gas to Pipeline Specifications" ISWA - Journal Nr 28/29 March/April 1979.
- 18 - RAIMUNDO F.A. & PINTO S.B.H., "Gás de Aterros Sanitários", Limpeza Pública nº 10, Março/abril, 1978 p. 36-38.

- 19 - SCHUYLER R.E., "Energy Recovery at the Landfill", Presented at 11 th Annual Seminar Governmental Refuse Collection and Disposal Association, Santa Cruz Califórnia, Nov., 1973.
- 20 - BUREAU OF SANITATION CITY OF LOS ANGELES, "Estimation of the Quantity and Quality of Landfill Gas from the Sheldon-Arleta Sanitary Landfill", Internal Report, 1975.
- 21 - COLONA R.A., "Methane Gas Recovery in Mountain View Moves into Second Phase", Solid Waste Management. vol. 19, nº 5, 1976, 90.
- 22 - DE WALLE F.B., CHIAN E.S.K. & HAMMERBERG E., "Gas Production from Solid Waste in Landfill", Journal of the Environmental Engineering Division, June 1978, p. 415-432
- 23 - STEGMANN R. & BRAUNSCHWEIG D., "Gase aus Geordneten Deponien - Allgemeine Problems Tellung, Entstehung und Anfall" - ISWA Journal 26/27, Dec. 1978, Jan 1979.
- 24 - ANDERSON D.R. & CALLIMAN J.P., "Gas Generation and Moviment in Landfills", procesings - National Industrial Solid Waste Management Conference, Huston, March, 1970.
- 25 - HEKIMIAN K.K., LOCKMAN W.J. & HIRT J.H., "Methane as Recovery from Sanitary Landfills" Waste Age, Dec. 1976, p. 2-9.
- 26 - INSTITUTO MAUÁ DE TECNOLOGIA, "Análise do Impacto Ambiental da Proposta Usina Térmica a Lixo da CESP", Relatório Preliminar, São Paulo, fevereiro 1979.
- 27 - ENGINEERING DATA BOOK, "Natural Gas Processors Suppliers Association", NGPSA, U.S.A.

- 28 - NONHEBEL G., "Gas Purification Processes", London, 1964.
- 29 - BARBATO A., "Cálculo de Conduccion de Gas Natural por Cañerías", Argentina.
- 30 - BELLIBONI C., "Combustão de Gases", Brasil.
- 31 - HICSAN LTDA., "Projeto do Aterro Sanitário da Rodovia dos Bandeirantes", São Paulo, 1979.
- 32 - HICSAN LTDA., "Projeto do Aterro Sanitário Sapopemba I", São Paulo, 1980.
- 33 - ZULAUF W. e STUERMER R., "Lixo: de Fonte de Poluição a Alternativa Energética" - São Paulo, 1980.