UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

AVALIAÇÃO AMBIENTAL PRELIMINAR DE ANTIGAS ÁREAS DE DISPOSIÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO

FRANCISCO ADRIÃO NEVES DA SILVA

Orientador: Prof. Dr. Alberto Pacheco

Inst. de Geociências
BIBLIOTECA
T3098
U. S. P.

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

COMISSÃO JULGADORA

	Nome	Assinatura
Presidente:	Prof. Dr. Alberto Pacheco	
Examinadores:	Prof. Dr. Leandro Eugênio Silva Cerri	
	Prof. Dr. Uriel Duarte	

SÃO PAULO
2001

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

DEDALUS - Acervo - IGC

30900006503

AVALIAÇÃO AMBIENTAL PRELIMINAR DE ANTIGAS ÁREAS DE DISPOSIÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO

FRANCISCO ADRIÃO NEVES DA SILVA

Instituto de Geociências
BIBLIOTECA
T 3098
U. S. P.

Orientador: Prof. Dr. Alberto Pacheco

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Programa de Pós-Graduação em Recursos Minerais e Hidrogeologia

SÃO PAULO
2001

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Alberto Pacheco, não só pela orientação, mas também pelo incentivo.

À geól. Patrícia Marra Sepe, pelo apoio institucional na fase inicial da pesquisa e incentivo pessoal.

Aos colegas da CETESB: Helton Gloeden, Wagner Aquino, Rodrigo Cunha; pelas discussões e fornecimento de informações. Em particular a Alvaro Gutierrez, pelos mesmos motivos e ajuda com a bibliografia.

Aos engenheiros da CETESB Edson Haddad, pelo fornecimento de informações, e João Fusaro pelo acesso ao seu arquivo pessoal com preciosas informações.

À engª: Maria de Fátima Papa Borella pelo acesso aos documentos e ao engenheiro Zeev Moise, pela valiosa entrevista, ambos de LIMPURB.

Ao estagiário Marcelo Copia, agora geólogo, pela ajuda em todo o trabalho, em particular com as figuras e fotos.

Aos colegas da pós do DGSA pela ajuda, em particular a Fernando Saraiva pela ajuda com o *abstract*.

À engª: Maria Aparecida Tonini Amorim do DAEE pelo fornecimento dos dados.

Aos colegas de SVMA, que me incentivaram, e em particular aos da Seção de Recuperação Ambiental, pelo companheirismo no dia a dia e ajuda nos trabalhos de campo.

À Divisão de Controle Ambiental de SVMA e ao Instituto de Geociências, pelo apoio ao desenvolvimento do trabalho.

Aos amigos geólogos Ronaldo Malheiros e Oswaldo Landgraf pelo apoio, incentivo e pela rica troca de experiências nos anos de trabalhos juntos.

À toda a minha família pelo incentivo e especialmente à Ana, Luiz e Rima pela ajuda e compreensão nos momentos mais duros.

A todas as pessoas que me incentivaram e apoiaram, e que esqueci de citar.

SUMÁRIO

Lista de Figuras ii
Lista de Fotografias iv
Lista de Tabelas v
Resumo vi
Abstract vii

1 - INTRODUÇÃO 1

2 - OBJETIVOS 4

3 - MATERIAIS E MÉTODOS 4

4 - O GERENCIAMENTO DE ÁREAS CONTAMINADAS 5

4.1 - A Experiência dos Estados Unidos 6
4.2 - A Experiência da Holanda 8
4.3 - Outros Exemplos 10
4.4 - A Experiência Brasileira 12
4.5 - Aspectos Gerais 16

5 - ÁREAS CONTAMINADAS PELA DISPOSIÇÃO DE RESÍDUOS 19

5.1 - Avaliação Ambiental de Aterros de Resíduos Domésticos 21
5.2 - Recuperação de Áreas Degradadas pela Disposição de Resíduos 28

6 - BREVE HISTÓRICO DA LIMPEZA URBANA NO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO 34

7 - AVALIAÇÃO AMBIENTAL PRELIMINAR DOS ATERROS DESATIVADOS 43

7.1 - Características Gerais 44
7.2 - Aterro Lauzanne Paulista 45
7.3 - Aterro Jardim Damasceno 50
7.4 - Aterro Vila São Francisco 56
7.5 - Aterro Carandiru 58
7.6 - Aterro Pedreira Cit 67
7.7 - Aterro Engenheiro Goulart 71
7.8 - Aterro Raposo Tavares 78
7.9 - Aterro Padreira Itapuí 82

8 - SÍNTESE E RECOMENDAÇÕES 91

8.1 - Aspectos Legais e Institucionais 94

9 - CONCLUSÕES 95

10 - BIBLIOGRAFIA 97

10.1 - Legislação Citada 103

LISTA DE FIGURAS

Figura 01 - Variação de alguns parâmetros químicos durante a decomposição de resíduos domésticos em aterros sanitários (Adaptado de Ham, 1979, *apud* Rhyner *et al*,1995). 22

Figura 02 - Sistema de cobertura com ventilação para gás (USEPA,1991 *apud* Grube, 1992) 29

Figura 03 - Mapa com a localização dos aterros do Município de São Paulo. 40

Figura 04 - Acima, foto aérea de 1973, mostrando o lago formado pela cava da pedreira. Abaixo a área em 1997, já ocupada pelo supermercado. (Fontes: acervos de SEMPLA e SVMA) 46

Figura 05 - Localização da área de disposição de resíduos. Aterro Lauzanne Paulista. 47

Figura 06 - Fotos da execução do aterro. À direita lagoa sendo esgotada e à esquerda execução da célula de lixo. Fonte: acervo LIMPURB. 49

Figura 07 - Localização aproximada da área de disposição de resíduos. Aterro Jardim Damasceno 51

Figura 08 - Fotos aéreas da área do Aterro do Jd. Damasceno. Acima foto de 1967 mostrando o vale que foi aterrado com intensa cobertura vegetal e a planície em frente com uso rural. Abaixo foto de 1997, onde as linhas tracejadas indicam a favela sobre o antigo vale e o loteamento clandestino na planície aluvionar (Fontes: acervos de SVP e SVMA). 52

Figura 09 - Reprodução de reportagem do Jornal da Tarde de 22/03/2000 sobre o loteamento clandestino. 54

Figura 10 - Reprodução da planta da época de implantação do aterro sobre o vale, indicando local previsto para futuro aterro do outro lado do córrego, onde foi implantado o loteamento. 55

Figura 11 - Localização da antiga área de disposição de resíduos. Aterro Vila São Francisco. 59

Figura 12 - Fotos aéreas da região do Aterro Vila São Francisco. Abaixo foto aérea de 1967 mostrando o pequeno lago que foi aterrado (indicado pela seta). Acima foto de 1997 mostrando a gleba ainda vazia e utilizada como aterro de "bota-fora" (Fontes: acervos de SVP e SVMA) 60

Figura 13 - Fotos aéreas da região do Carandiru. Acima foto de 1940 com as diversas cavas de mineração de areia. Abaixo foto de 1994 com a ocupação muito próxima da atual (Fontes: acervos de SVP e SVMA). 63

Figura 14 - Montagem de fotos aéreas de 1973, mostrando as principais áreas de lixão na região do Carandiru (Fonte: acervo SVP). 64

Figura 15 - Localização das áreas de disposição de resíduos na região do Carandiru, conforme foto de 1973. 65

Figura 16 - Localização da área de disposição de resíduos. Aterro Pedreira Cit. 68

Figura 17 - Fotos aéreas da região da Pedreira Cit. Acima foto de 1973, mostrando a cava com água. Abaixo foto de 1997, observando-se os platôs formados pelo aterro de "bota-fora" (Fontes: acervos de SVP e SVMA). 69

Figura 18 - Fotos aéreas da região do aterro de Engº Goulart. Acima foto de 1954 mostrando grande número de cavas de mineração. Abaixo foto de 1994 com o lago formado pela barragem da Penha e o Pq. Ecológico do Tietê entre as duas pistas da Rodovia dos Trabalhadores. O local do aterro sanitário está indicado pela linha tracejada branca (Fontes: acervos de SVP e SVMA). 72

Figura 19 - Localização da área de disposição de resíduos. Aterro de Engenheiro Goulart. 73

Figura 20 - Mapa mostrando as cavas aterradas e as lagoas utilizadas no estudo para tratamento do chorume (Fonte: CETESB, 1977) 74

Figura 21 - Fotos aéreas do aterro Raposo Tavares. Acima em 1973 como lixão onde observa-se a fumaça dos constantes incêndios; abaixo foto de 1997 com toda a área do aterro, indicada pelo tracejado branco, ocupada pelo parque (Fontes: acervos de SVP e SVMA). 79

Figura 22 - Localização da área de disposição de resíduos. Aterro Raposo Tavares. 80

Figura 23 - Reprodução de corte esquemático existente no projeto do aterro. 81

Figura 24 - Localização da área de disposição de resíduos. Aterro Pedreira Itapuí. 84

Figura 25 - Fotos aéreas da região do aterro da Pedreira Itapuí. Acima foto de 1973 com a cava tomada por água. Abaixo foto de 1997 com a delimitação da cava em vermelho (Fontes: acervos de SEMPLA e SVMA). 85

Figura 26 - Planta do loteamento Jd. Nova América e os principais elementos relativos ao antigo aterro sanitário da Pedreira Itapuí. 87

LISTA DE FOTOGRAFIAS

Foto 01 - Estacionamento do supermercado ao lado do talude da antiga pedreira. 49

Foto 02 - Vista geral do vale aterrado ocupado por favela, área livre a montante e parte do loteamento no primeiro plano. 54

Foto 03 -. À esquerda, evidências de instabilização na Rua Feliciano Malabia : muro de contenção retorcido e pavimento e guias deformados. 57

Foto 04 - À direita, calçada que precisa ser continuamente quebrada para abertura do portão devido os recalques. 57

Foto 05 - À esquerda, moradia implantada no talude próximo ao córrego, onde muitos sacos plásticos evidenciam os resíduos enterrados. 57

Foto 06 - À direita, escombros de moradia destruída, que está sendo reconstruída 57

Foto 07 - Depósito recente de resíduos predominantemente inertes, junto ao córrego, configurando situação de risco às moradias, por escorregamento. 61

Foto 08 - Crianças brincando no mesmo depósito da foto anterior, em trecho com resíduos domésticos. 61

Foto 09 - Detalhe do dreno de gás . 66

Foto 10 - Drenos alinhados na calçada ao lado do *shopping*. 66

Foto 11 - Vista dos taludes na área do antigo aterro 70

Foto 12 - Vista da área desocupada 70

Foto 13 - Afloramento do gnaisse, única evidência da antiga pedreira 70

Foto 14 - Vista parcial do patamar do aterro elevado em relação à planície. Observam-se os diques na borda utilizados para disposição do material dragado do Tietê. 76

Foto 15 - Detalhe de um dos drenos utilizados no monitoramento 76

Foto 16 - Vê-se em primeiro plano árvore com raiz superficial, bem adaptada. Ao fundo dois eucaliptos sendo escorados. 83

Foto 17 - Ravina de erosão expondo os resíduos. 83

Foto 18 - Escadaria destruída por erosão, com exposição dos resíduos (notar sacos plásticos) e surgência de percolado. 83

Foto 19 - Surgência de percolado na calçada da Rua Alberto Astori. 83

Foto 20 - Área do aterro da Pedreira Itapuí. Observam-se as quadras livres e cercadas e a disposição recente de terra. 89

Fotos 21 e 22 - Deformações no pavimento na rua 5, próximo ao limite da cava e rupturas nas redes enterradas no mesmo local. 89

Foto 23 - Detalhe do muro de arrimo para reforço da estrutura, executado ao lado de toda a casa que apresentava várias trincas. 90

Fotos 24 e 25 - Casa abandonada pela presença de gases, segundo vizinhos. À direita detalhe da trinca (à 45°, indicativa de recalque) na mesma casa. 90

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Valores Indicativos Da Composição Química De Percolados De Aterros Sanitários No Brasil E Nos Estados Unidos. 24

Tabela 2 - Primeiros Aterros "Sanitários" Da Cidade De São Paulo (Fonte: Limpurb,1995) 38

Tabela 3 - Aterros Sanitários, Ativos Ou Encerrados Em Manutenção, Da Prefeitura De São Paulo. (Fontes: Limpurb, 1999 E Limpurb, 1995). 41

RESUMO

O trabalho apresenta a avaliação ambiental preliminar de antigas áreas de disposição de resíduos sólidos no Município de São Paulo, que correspondem aos primeiros aterros chamados de "sanitários" executados na década de 70. Avalia-se os impactos ambientais existentes e presumidos, com ênfase à saúde pública, utilizando-se os seguintes métodos: análise de fotografias aéreas, inspeções aos locais e coleta de informações disponíveis. Verifica-se como estas áreas estão sendo consideradas no arcabouço institucional atual, em relação aos mecanismos de controle ambiental e de planejamento de uso do solo.

Os oito aterros avaliados apresentam impactos ambientais não apenas referentes à contaminação como também de estabilidade geotécnica. Há evidências de geração significativa de gases e o risco de explosões não pode ser descartado. A principal via de exposição é o contato direto com os resíduos e com o percolado, onde os maiores riscos encontram-se nos aterros Raposo Tavares e Jd. Damasceno. Outra via importante é a inalação de substâncias nas áreas ocupadas por residências nos aterros da Pedreira Itapui e do Jd. Damasceno, nas áreas com uso comercial do Carandiru e Lauzanne Paulista e nos parques de Raposo Tavares e Engenheiro Goulart.

A exposição pela contaminação das águas subterrâneas não é muito importante num primeiro momento, visto que os aterros estão em áreas de descargas locais e em regiões com abastecimento público de água. Os problemas geotécnicos são mais graves nos aterros de encosta, onde existe situação de risco, e os recalques diferenciais causam prejuízos econômicos.

Exceto no aterro de Engenheiro Goulart não se encontrou nenhum trabalho recente sobre estas áreas, o que mostra a necessidade de um programa de gerenciamento de áreas contaminadas, não só para determinar a prioridade de recuperação, mas também para realizar um controle do uso do solo, através da implantação de um cadastro a ser considerado no planejamento urbano, aprovação de projetos e transferência de propriedades, além de tornar pública a localização das áreas. Este aspecto é importante para as áreas ainda livres da Pedreira Cit e Vila São Francisco.

ABSTRACT

The work presents the preliminary assessment of old solid waste disposal areas on the São Paulo city that represents the first landfills called "sanitary" performed in the decade of 70. The existing and presumptive environmental impacts are evaluated, with emphasis to public health, using the following methods: aerial photographs analysis, site inspections and available information collecting. How these sites are being considerate in the actual institutional framework is verified, as its relationship to environmental control mechanisms and land use planning.

The eight evaluated landfills presents environmental impacts, not only about contamination, but of geotechnical stability too. There are evidences of gas significant generation and the risk of explosions cannot be discarded. The main exposure pathway is the direct contact with waste and leachate, where the majors' risks are present on the Raposo Tavares and Jd. Damasceno landfills. Another important pathway is the inhalation of chemicals in the sites with residential use on the Pedreira Itapuí and Jd. Damasceno landfills, in the sites with services uses on the Carandiru and Lauzanne Paulista landfills and in the parks of Raposo Tavares and Engenheiro Goulart.

The exposure for groundwater contamination is not very important at the first moment, due the sites are in local discharge areas and in regions with water public supply. The geotechnical problems are more serious at landfills in slope, where risk situations exist, and differential settlements causes economic injuries.

Except to Engenheiro Goulart landfill, no recent publication about these sites were found, showing the necessity of a management program at contaminated sites, not only to determine the priority of reclamation, but also to realize the land use control within implementation of the inventory to be considerate at the urban planning, projects approval and transactions of properties, moreover make public the site localizations. This aspect is important to the sites not yet occupied of the Pedreira Cit and Vila São Francisco.

1 - INTRODUÇÃO

O tratamento de áreas degradadas pela disposição de resíduos e contaminadas por indústrias tem sido objeto de grande preocupação em vários países, principalmente nos mais desenvolvidos, cuja industrialização não levou em conta este problema e hoje apresentam grande número de áreas poluídas por substâncias tóxicas. Infelizmente em nosso país esta preocupação ainda é muito incipiente, não se conhecendo a verdadeira dimensão do problema e sem políticas públicas para a questão.

Segundo Sanchez (1997), até hoje a atuação dos órgãos ambientais na questão de áreas contaminadas, tem acontecido com uma abordagem reativa e corretiva, ou seja, reação às pressões para atuação em casos já reconhecidos e busca da correção dos mesmos através de medidas de remediação, freqüentemente apenas emergenciais, e responsabilização dos agentes causadores. A Secretaria do Verde e Meio Ambiente do Município de São Paulo (SVMA) através do seu Departamento de Controle da Qualidade Ambiental (DECONT), que apoiou esta pesquisa, pretende alterar esta postura passando a ter uma atuação preventiva e proativa em relação ao problema.

A poluição das águas (superficiais utilizadas para consumo) e do ar há bastante tempo são objeto de preocupação da sociedade, possivelmente por serem de vital importância para a vida humana e claramente visíveis e perceptíveis, sendo contempladas em vasta legislação e com parâmetros de qualidade razoavelmente bem definidos. Entretanto a poluição do solo sempre foi renegada, esquecendo-se da mobilidade dos contaminantes entre os meios : aqueles que são volatilizados para o ar e os solúveis ou mobilizados pelas águas subterrâneas. Outras explicações possíveis são a falta de visibilidade e de efeitos agudos na população que, em geral caracterizam a poluição em solos e das águas subterrâneas. As legislações internacionais que serão citadas neste trabalho, em geral, só foram implantadas após eventos ou acidentes com efeitos graves à saúde pública.

Alguns aspectos conferem maior complexidade à questão de poluição de solos e também podem justificar a ausência de leis específicas: a variabilidade do meio

afetado; a dificuldade de se estabelecer padrões de qualidade; custos de despoluição e o fato do solo ser um bem econômico de propriedade privada.

Quanto à qualidade e grau de contaminação das águas subterrâneas não existem estudos abrangentes para os aqüíferos existentes no Município de São Paulo, existindo alguns estudos restritos a locais específicos. Também não existem estudos relativos aos conflitos de uso do solo, ou seja, problemas resultantes do avanço da urbanização em áreas contaminadas, notadamente antigas áreas industriais e áreas utilizadas para disposição de resíduos.

Cleary & Miller (1984), assinalam que a contaminação da água subterrânea nos países desenvolvidos não havia sido detectada até 15 anos atrás, ou seja, início da década de 70. Posteriormente, com a implantação de programas detalhados de monitoramento foram detectados traços de compostos orgânicos em poços de abastecimento nos EUA, quando foram então criados programas governamentais e uma rigorosa legislação de águas subterrâneas. Correlacionando as industrias e os processos existentes entre esses países e o Brasil, os autores deduzem que os processos de poluição também devem estar aqui ocorrendo, só não foram pesquisados e comprovados. Ainda hoje, quase 15 anos após o citado artigo, tal afirmação continua válida.

O abastecimento público de água no Município de São Paulo é feito quase que exclusivamente pela captação de água superficial, com destaque para os Sistemas Cantareira e Guarapiranga. Entretanto, a crescente urbanização e seus problemas vêm comprometendo significativamente a qualidade e quantidade desses mananciais. Recentemente a cidade passou por uma crise de abastecimento, sendo necessária a adoção de sistema de rodízio no fornecimento. Esses fatores indicam que há uma demanda crescente na perfuração de poços tubulares profundos que captam suas águas tanto no aqüífero sedimentar da Bacia de São Paulo como no aqüífero Cristalino.

Apesar da Lei Estadual nº 6134/88, que dispõe sobre a preservação dos depósitos naturais de águas subterrâneas no Estado de São Paulo, exigir o cadastramento tanto de poços já existentes quanto para as novas captações, há evidências que o número de poços seja muito maior . Pacheco (1984) localizou numa área de 100 Km^2 ,um total de 475 poços, sendo apenas 247 cadastrados pelo

Departamento de Águas e Energia Elétrica (DAEE). Segundo o diagnóstico feito pelo Comitê da Bacia Hidrográfica do Alto Tietê (2000), existem fortes indicações de que haja problemas de super-exploração dos aqüíferos na Bacia Sedimentar de São Paulo. Estimativas grosseiras têm mostrado que as extrações devem ascender a 782 Mm^3/ano (25 m^3/s), resultado do bombeamento de 17.500 poços em operação, dos 25.000 poços existentes, a maioria no Município de São Paulo. Estes valores mostram que as extrações estão superando as reservas explotáveis em 30% (índice de 25% das reservas reguladoras). Neste contexto as águas subterrâneas constituem uma reserva estratégica para o abastecimento público, sendo urgente um programa de controle de sua exploração, no que se refere aos aspectos de quantidade e qualidade.

Quanto ao controle da qualidade, um dos fatores a serem analisados é a existência de áreas contaminadas que são fontes permanentes de poluição dos aqüíferos, cuja recuperação é extremamente cara. As ações de recuperação visando restaurar a multifuncionalidade dos solos ou a potabilidade das águas são praticamente inviáveis para nossas condições econômicas, justificando a necessidade de um adequado sistema de gerenciamento onde os mecanismos de priorização devam ser bastante acurados para a melhor utilização dos recursos, garantindo-se a melhor prevenção possível aos efeitos nocivos à saúde pública.

Deve-se considerar uma área contaminada como um caso particular de área degradada. Para Sanchez (1998), uma área está degradada quando "*ocorrem processos de alteração das propriedades físicas e/ou químicas de um ou mais compartimentos do meio ambiente*". Esta definição é importante, pois no caso de áreas antigas de disposição de resíduos, como as avaliadas neste trabalho, existem outros processos de degradação, como recalques, escorregamentos , risco de incêndio e explosões, que devem ser considerados em conjunto com os processos de contaminação propriamente ditos. Ou seja, o gerenciamento de áreas contaminadas deve ter um caráter amplo de proteção à saúde pública, e não enfocar apenas a proteção dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos.

No que se refere a resíduos sólidos domésticos, Hassuda (1997), ressalta que os esforços têm sido concentrados na situação atual, cujos problemas residem na adequação do local de disposição e qual a melhor maneira de fazê-lo do ponto de vista ambiental. Todavia a questão das áreas já existentes, desativadas ou não, que muitas

vezes foram mal construídas ou operadas, tem sido pouco abordada, havendo uma carência de propostas sobre a destinação a ser dada para tais áreas.

2 - OBJETIVOS

O objetivo deste trabalho foi avaliar, preliminarmente, os impactos ambientais em antigas áreas de disposição de resíduos do município de São Paulo, que correspondem aos oito primeiros aterros chamados de "sanitários", executados em meados da década de 70. Os mesmos encontram-se praticamente esquecidos e poucas vezes são citados em relatórios ou outros documentos, oficiais ou não. A partir da revisão bibliográfica realizada e análise dos dados levantados objetivou-se demonstrar como estas áreas estão inseridas na cidade, caracterizando-as e sintetizando os impactos ambientais observados e presumidos, realizando uma avaliação das mesmas em relação aos efeitos à saúde pública com indicação de ações para posterior investigação confirmatória.

Pretendeu-se também verificar como estas áreas estão sendo consideradas no arcabouço institucional em vigor, em relação aos mecanismos de controle ambiental e de planejamento de uso do solo, analisando os problemas existentes e propondo ações possíveis a curto prazo e ações mais complexas a serem incorporadas em um programa de gerenciamento de áreas contaminadas.

3 - MATERIAIS E MÉTODOS

Definidas as oito áreas de trabalho, foi feito um levantamento de dados existentes sobre as mesmas em diversos órgãos, realizando-se também entrevistas com pessoas que de alguma forma atuaram na época de execução dos aterros, as quais forneceram informações complementares aos documentos ou indicaram novas fontes. A seguir realizou-se análise histórica de fotografias aéreas de fontes e escalas diferentes, realizadas nos anos de 1940, 1954 e 1967, da Secretaria Municipal de Vias Públicas (SVP), 1973, da Secretaria Municipal de Planejamento (SEMPLA), 1994 e 1997, da Secretaria Municipal do Verde e Meio Ambiente (SVMA). Naquelas áreas onde o local de disposição de resíduos estava claramente demarcado, fez-se

superposição das fotografias aéreas em *software* de tratamento de imagem, delimitando-as na fotografia mais recente.

De posse dos dados foi possível direcionar os trabalhos de campo para verificar como estes locais estão sendo utilizados e observar possíveis problemas ambientais visíveis em superfície, como recalques, surgência de percolado, emissões gasosas, ocorrência de poços a jusante, danos à vegetação, entre outros, que poderiam indicar o nível de estabilização dos resíduos depositados, assim como observar características do meio físico, como geologia, relevo, posição do nível d'água, entre outros. Durante as vistorias realizaram-se entrevistas com algumas pessoas que vivem sobre ou próximas aos aterros, verificando sua percepção do problema. Em alguns casos, durante o processo, novos dados foram descobertos e novas vistorias foram realizadas. Por fim elaborou-se uma síntese dos dados obtidos, permitindo-se chegar as conclusões do trabalho.

4 - O GERENCIAMENTO DE ÁREAS CONTAMINADAS

Segundo Sánchez (1998), há uma grande diversidade no tratamento legal, administrativo e econômico dado à questão das áreas contaminadas no mundo todo. As respostas adotadas pelos governos refletem diferentes fatores, tais como a influência da opinião pública e dos grupos de pressão na formulação de políticas públicas, a importância formal e de fato dos órgãos ambientais perante aos demais setores de governo, sua capacidade de aplicar a legislação e a proporção em que as leis preexistentes eram, ou não, suficientes para tratar da questão.

As políticas desenvolvidas normalmente contemplam o estabelecimento de legislações específicas e de inventários de locais contaminados e suspeitos de contaminação, o desenvolvimento de procedimentos de avaliação e priorização, o desenvolvimento de tecnologias de remediação e a criação de fundos que subsidiem a remediação de áreas consideradas prioritárias (Cunha,1997).

Exemplos internacionais de gerenciamento de áreas contaminadas são detalhadamente descritos por Gloeden (1999). A seguir apresentam-se resumidamente alguns exemplos internacionais, enfocando mais diretamente os temas relativos ao objeto desta pesquisa e mostrando com pouco mais de detalhe as experiências dos

Estados Unidos e Holanda, que são países com maior tradição na questão e possuem um ordenamento em nível nacional.

4.1 - A experiência dos Estados Unidos

O Estados Unidos foi um dos países pioneiros na implementação de ações em áreas contaminadas, tendo em 1980 estabelecido uma primeira legislação sobre o tema - o CERCLA - "Comprehensive Environmental Response, Compensation and Liability Act" (comumente chamado de "*Superfund*"). Através dele foram destinados, para um período de cinco anos, US$ 1,6 bilhões a serem aplicados em um programa de remediação dos locais mais críticos existentes no país. Estes recursos eram provenientes de taxas aplicadas sobre óleo cru e 42 diferentes produtos químicos. Em 1986 foi promulgado o SARA - "Superfund Amendments and Reauthorization Act", disponibilizando mais US$ 8,5 bilhões para o programa de remediação e mais US$ 500 milhões a serem aplicados na remediação de locais contaminados pelo vazamento de combustíveis de postos de serviços (Cunha, 1997). Entretanto as taxas obrigatórias expiraram em 1995 e as remediações financiadas pelo Superfund caíram drasticamente e o Congresso não reinstaurará as taxas enquanto não houver uma reforma da lei, particularmente nos mecanismos de responsabilização, sendo que várias propostas já foram apresentadas e nenhuma conseguiu suporte para aprovação (Dinam,2000).

Os locais contaminados são identificados pela United States Environmental Protection Agency (USEPA), pelos proprietários ou por outras agências reguladoras. Em seguida é determinada a prioridade para descontaminação dentro do Plano Nacional de Contingência que usa um sistema de graduação. A Agência busca identificar as partes potencialmente responsáveis que deverão pagar pelas investigações para determinar a extensão da contaminação e providenciar testes e projetos para tratamento e despoluição, ou então deverão reembolsar as despesas do governo. Se os responsáveis não são identificados as despesas são financiadas pelo *Superfund* (Palmer,1996).

Segundo Paulson (1990) a EPA incentiva ações de curto prazo e interinas de remediação, visando promover imediatas e às vezes drásticas reduções nos riscos

ambientais e à saúde pública. Entretanto ingerências de outras partes, como vizinhos ou outras unidades de governo, algumas vezes impedem a implementação deste tipo de ação.

Uma das principais características do programa *Superfund* é sua aplicação retroativa e a possibilidade de condenação judicial não só do agente causador da contaminação do solo, mas também do proprietário atual e mesmo de proprietários passados de áreas contaminadas. A lei estabelece a responsabilidade objetiva, isto é, independentemente da existência de culpa, daquele que causar contaminação do solo. Este princípio jurídico implica que um responsável não pode alegar que determinado ato de poluição foi decorrente de um evento fortuito, por exemplo um vazamento acidental. A lei americana também estabelece a responsabilidade solidária dos causadores da contaminação, ou seja, um só responsável pode ser condenado a pagar por toda a recuperação, mesmo que tenha contribuído apenas com uma parcela da poluição. Essa possibilidade ampla de responsabilização, embora facilite o trabalho da EPA, tem sido um dos principais pontos de ataque ao programa, uma vez que tem dado origem a uma enorme quantidade de ações judiciais (Sanchez,1998).

Recentemente tem sido aplicada uma flexibilização das regras através de um programa chamado *"brownfields"* que refere-se a áreas que tenham grande potencial de reutilização, em geral menos tóxicas, onde utilizam-se incentivos financeiros que facilitam a recuperação destas áreas pela iniciativa privada e sua reutilização, ou seja, as medidas de remediação são adaptadas ao uso futuro através de uma avaliação de risco específica para este uso (Beaulieu,1998).

Principalmente nestes casos utilizam-se também medidas de controle institucional para limitar atividades humanas em áreas contaminadas ou próximas à elas; evitando exposição ou garantindo a efetividade das medidas de remediação. Este tipo de medida pode envolver: uma notificação para eliminação da exposição, manutenção de sistemas usados na remediação, controles de uso da área (proibição de uso residencial e abertura de poços, p. ex.), exigência de aprovação para alteração de uso, exigência de registro em cartório, entre outras medidas. Vários problemas são colocados no uso desta alternativa, dentre os considerados mais significativos citam-se: restrições de uso inconsistentes com planos locais, necessidade de estrutura pública para registrar e acompanhar os controles impostos durante muito tempo,

brechas na legislação permitindo alterações de uso e pressões da sociedade para alteração do uso da área (USEPA,1998).

Para Beaulieu (1998) as exigências feitas para a utilização de uma área com o critério de avaliação de risco específico para aquele uso frequentemente desanimam os investidores, que são incentivados a adotar o critério de descontaminação para a multifuncionalidade. Ainda segundo este autor, os programas de reutilização conhecidos como "brownfields" são muito novos e é muito cedo para avaliar seus impactos.

Um exemplo de regulamento local é o Condado de Santa Clara na Baía de São Francisco com 15 cidades que, após problemas de vazamentos de óleos e solventes de tanques enterrados, obriga que sejam instalados poços de monitoramento e instituído um monitoramento periódico para água, solo e gases no solo (Palmer,1996).

Segundo Andrews (1994, *apud* Lee *et al*, 1994) não existem evidências que relacionem impactos à saúde pública com liberações de substâncias químicas de locais incluídos no *Superfund*. O que parece ser um aumento de certas enfermidades pode estar relacionado com a condição sócio-econômica ou herança étnica, pois em geral os residentes próximos às áreas contaminadas tendem a ser pobres. É interessante notar a semelhança com nosso país, onde também as áreas contaminadas em geral estão nas periferias pobres dos centros urbanos.

4.2 - A experiência da Holanda

Casarini (1997), descreve o sistema holandês, que será resumido a seguir. O controle da poluição de solos e águas subterrâneas teve início em 1983 com a formulação de uma lei provisória denominada "Soil Cleanup Interim Measures Act", que foi substituída pela "Soil Protection Act" em 1994. Existe uma distinção entre casos antigos de contaminação (anteriores a 01/01/87), e os casos conhecidos a partir desta data, que são regulamentados pela lei de proteção do solo, a qual define um imposto para gerar fundos para remediação.

Na nova regulamentação de remediação, o governo introduz uma clara divisão entre ações efetuadas pelo poluidor e pelo poder público. De acordo com o princípio poluidor-pagador, o responsável pela poluição é obrigado a arcar com os custos da

remediação. Quando o poluidor não pode ser identificado, o governo pode definir o proprietário ou arrendatário da propriedade como responsável pela remediação, a não ser que o mesmo prove que não é o poluidor, não tem conexão com este e não teve envolvimento com a contaminação. As províncias são responsáveis pela aprovação dos planos de remediação delineados pelos poluidores e em casos de falta de condições de arcar com a remediação, o governo conduz as ações necessárias. As principais autoridades envolvidas no planejamento e implementação da remediação são as províncias e as quatro maiores prefeituras: Amsterdam, Rotterdam, The Hague e Utrecht. Um aspecto interessante é que o público em geral é informado, através de anúncios de jornais e folhetos entregues a domicílio, sobre as ações de remediação (Casarini, 1997).

As prefeituras são obrigadas a comprar as residências da área afetada, se estas forem construídas antes da contaminação ocorrer. Não há necessidade dessa compra se o proprietário for responsável direta ou indiretamente pela contaminação, ou se tiver relacionamento legal com o poluidor. Também fica a Prefeitura desobrigada da compra se somente a água subterrânea estiver contaminada. Todo aquele que comprar uma residência ou um terreno, ou pretender construir moradias, deve executar análise de solo e o vendedor deve fornecer todas as informações disponíveis. Construções recentes devem possuir certificado de que não há contaminação no terreno (Casarini,1997).

A Lei de Proteção de Solos previa que a remediação restaurasse a multifuncionalidade do local, mas recentemente foi aprovada no parlamento uma nova política de remediação de solos, abandonando esta exigência e permitindo a remediação de acordo com o uso pretendido. A aplicação do conceito de multifuncionalidade implicaria num investimento de 50 bilhões de dólares americanos para remediar as estimadas 110 mil áreas mais seriamente contaminadas. Como a Holanda tem gasto 0,5 bilhões por ano, demorariam 100 anos para resolver o problema (North Atlantic Treaty Organization-NATO/ Committee On The Challenges Of Modern Society-CCMS, 1998).

A Holanda foi o primeiro país a adotar padrões de qualidade dos solos (Sanchez,1998). Onde as concentrações de substâncias perigosas são encontradas abaixo do nível alvo, o solo é classificado como limpo e multifuncional, isto é, adequado

para todos os usos. Quando as concentrações estão entre o nível alvo e o nível de ação, o solo é considerado de leve a moderadamente contaminado, onde os riscos são considerados aceitáveis. Onde as substâncias perigosas são encontradas em concentrações maiores do que o nível de ação, o solo é considerado seriamente contaminado, representando um risco inaceitável à saúde pública. Este risco é estimado pela extensão e natureza do contaminante e pelo tipo de contato deste com as pessoas (vias de exposição). Ao estabelecer valores de intervenção, pesquisadores calculam um "risco potencial", no qual se assume que todas as vias de exposição estão presentes (Casarini, 1997).

A cidade de Rotterdam criou uma estrutura específica para o *"aftercare"* (cuidados permanentes após a recuperação) de áreas contaminadas, preocupando-se com a efetividade das medidas ao longo do tempo e considerando que na prática o monitoramento não é a única ferramenta a ser utilizada. O *"aftercare"* inclui aspectos como: uso do solo, administração, leis, finanças, relações entre os proprietários e usuários, hidrogeologia, toxicologia entre outros elementos, que necessitam ser integrados em um eficiente plano. Até o momento 400 locais haviam sido identificados e, após priorização dos locais de maior risco, 60 estavam com projeto sendo realizado (Berendsen,1998).

4.3 - Outros exemplos

Na Alemanha apenas recentemente foi aprovada uma lei federal de proteção de solo, mas vários estados já possuíam suas próprias leis e o país possui larga tradição na questão, com elevado número de profissionais e empresas atuando no setor, havendo um grande número de tecnologias de remediação disponíveis (Cunha,1997). A lei de proteção do solo entrou em vigor apenas em março de 1999 e define o que é contaminação do solo e quem são os responsáveis pela recuperação. Um aspecto interessante é que há uma clara distinção entre áreas contaminadas já existentes e a proteção da contaminação do solo. Se o solo é contaminado após a vigência desta lei, a descontaminação terá prioridade sobre outras medidas de recuperação (Bachmann, 2000).

As seis agências de água da França são responsáveis pela política de áreas contaminadas, principalmente o suporte técnico e financeiro para as ações de remediação. È coletada uma taxa de todos os consumidores da bacia e parte deste fundo é usado para remediação de sítios órfãos, nos outros é aplicado o princípio do poluidor-pagador (Feuillet, 1995). Além desta taxa em 1995 foi adotada uma taxa sobre "resíduos industriais especiais" cuja finalidade exclusiva é financiar a remediação de sítios contaminados órfãos. A legislação francesa também impõe às indústrias que cessam suas atividades a exigência de recuperar o local para outros usos, devendo apresentar às autoridades uma descrição das ações que serão empreendidas, como por exemplo : a remoção ou eliminação dos produtos perigosos e resíduos produzidos; a despoluição dos solos e águas subterrâneas eventualmente poluídas e o monitoramento proposto (Sánchez,1998). Até o final de 1997 metade dos departamentos tinham iniciado seus inventários de áreas contaminadas. São esperadas entre 200 mil a 300 mil áreas suspeitas (NATO/CCMS,1998).

No Reino Unido a questão de áreas contaminadas foi considerada no "Environmental Protection Act" de 1990. Entretanto tem sido considerada a necessidade de um regime específico que fazia parte de um projeto de lei de 1995. A lei de 1990 obriga planejadores locais a considerar a questão de áreas contaminadas, assim como a verificação de possível contaminação em novas construções (Denner, 1995). A mesma lei também estabelecia um cadastro público de locais contaminados, no entanto este cadastro foi tão mal recebido pelo setor imobiliário e financeiro que não foi posto em prática e acabou sendo revogado por uma emenda de 1995 à lei que o havia instituído (Lewis, 1995 *apud* Sanchez,1998). A falta de uma legislação específica tem feito com que os empreendedores decidam apenas com bom-senso se devem utilizar uma área contaminada, ou não. Os procedimentos adotados pelas autoridades são muito variados e confusos entre os diferentes departamentos, causando frustração entre os investidores (Syms,1998).

Até 95 não existia uma legislação nacional de áreas contaminadas na Itália, por esta razão a região da Lombardia estabeleceu sua própria lei que além das considerações usuais, inova na responsabilização do proprietário da área, não necessariamente o poluidor. Caso este sinta-se injustiçado deverá processar

judicialmente os responsáveis. Este mecanismo agiliza as ações de remediação (Carella & Chiappini, 1995).

Na Bélgica, segundo Nijs (1995), o gerenciamento ambiental é feito por regiões com leis específicas para cada uma delas. A região de Flandres aprovou um decreto em fevereiro de 1995 onde é dada especial atenção ao registro de locais contaminados, restrições ao uso do solo e proteção aos compradores de possíveis áreas contaminadas. Um aspecto interessante é a distinção entre poluição nova e histórica. Para o primeiro caso são aplicados padrões para se avaliar a necessidade de remediação. Para poluições históricas a remediação somente será imposta em casos de "sério risco", para os quais também possuem padrões, ou em casos específicos uma detalhada avaliação de risco pode ser solicitada.

Um exemplo de aplicação de lei de caráter local refere-se à cidade de Toronto no Canadá que incluiu em 1992 em seu regulamento de demolição a possibilidade de exigência de estudos de caracterização se houver suspeita que o local esteja contaminado por atividades industriais no passado ou mesmo se houver possibilidade de presença de substâncias perigosas (Sánchez,1998).

4.4 - A Experiência Brasileira

No Brasil, a gestão das áreas contaminadas foi delineada apenas prevendo a proteção das águas subterrâneas (Hassuda,1997). Nessa linha foram realizados mapeamentos de vulnerabilidade de aqüíferos e implantadas redes de monitoramento de qualidade, mas desconhece-se legislações específicas que controlem ,por exemplo, o uso do solo a partir destes dados.

Na Bacia do Alto Tietê (BAT), que corresponde basicamente à Região Metropolitana de São Paulo, conforme o diagnóstico realizado pelo Comitê da Bacia Hidrográfica do Alto Tietê (2000), a despeito da grande e densa ocupação antrópica, poucos casos de contaminação de aqüíferos foram reportados. Isto pode estar relacionado à existência de um número reduzido de casos de degradação dos aqüíferos ou à falta de estudos que os identifiquem. Até o momento, nenhum estudo sistemático de avaliação da qualidade das águas subterrâneas foi desenvolvido na região da BAT e é certo que devem existir muito mais casos de contaminação do que

os conhecidos. Ainda segundo o diagnóstico do Comitê não existe um consenso entre os técnicos sobre qual deveria ser a estratégia para a monitoração da qualidade dos reservatórios aqüíferos.

No Estado de São Paulo a Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB) há quase 10 anos trata de problemas individuais de contaminação do solo e águas subterrâneas. Com o projeto de Cooperação Técnica: "Áreas Contaminadas" (AC) executado desde 1993 com a agência alemã de cooperação para o desenvolvimento - GTZ, a CETESB visa dar uma abordagem institucional mais abrangente ao assunto, com o objetivo de internalizar um gerenciamento de áreas contaminadas (Gloeden *et al.*, 1997). Este gerenciamento proposto é constituído por dois processos básicos, com suas respectivas etapas (Gloeden, 1999) :

1º) Processo de identificação de áreas contaminadas:

- definição da região de interesse;
- identificação de Áreas Potencialmente Contaminadas (AP);
- avaliação preliminar;
- investigação confirmatória.

2º)Processo de recuperação de áreas contaminadas:

- investigação detalhada;
- avaliação de risco;
- investigação para remediação;
- projeto de remediação;
- execução da remediação;
- monitoramento.

Recentemente foram propostos valores de referência de qualidade e intervenção para solos e águas subterrâneas pela CETESB. A função destes valores é prover uma orientação quantitativa no processo de avaliação de áreas contaminadas, devendo a análise de risco caso a caso ser utilizada no processo de tomada de decisão sobre a necessidade, urgência e alvo de remediação, com vistas à proteção da saúde humana. Portanto antes de se partir para uma avaliação detalhada, aplicando-se modelos de

análise de risco, os quais envolvem altos custos e grande especialização, aplica-se a lista orientadora de valores de referência de qualidade (Casarini,2000). A proposta não diferencia áreas contaminadas antigas de fontes de poluição ativas que eventualmente causem uma contaminação.

Segundo Dias (2000), para a proposta de valores de intervenção para solos foi adotada a metodologia holandesa, baseando-se em análise de risco (com o modelo matemático C-soil), para uma área contaminada hipotética conservativa, em quatro cenários de uso e ocupação do solo : área de proteção máxima, agrícola, residencial e industrial. Para as águas subterrâneas foi proposta a adoção do Padrão de Potabilidade da Portaria 36 de 1990 do Ministério da Saúde. Para as substâncias que não constam da citada Portaria o valor de intervenção foi derivado com base no valor de intervenção para solos em cenário agrícola, considerando-se a lei de equilíbrio das fases do solo e um fator de diluição e atenuação (DAF) igual a 10. O autor cita que não foram encontrados dados nacionais para a grande maioria das variáveis utilizadas no modelo matemático, utilizando-se então dados internacionais.

No Brasil, e particularmente no Estado de São Paulo, apesar dos projetos e propostas realizados pela CETESB, falta uma política para áreas contaminadas que seja expressa em legislação adequada. E pode-se considerar que os efeitos sociais em nosso país em relação a este problema são mais graves, pois em geral os terrenos contaminados são ocupados por pessoas carentes, ocorrendo uma associação dos problemas devido à exclusão social, como falta de saneamento, falta de acesso a serviços de saúde, entre outros. Os casos que surgem, frequentemente em situações emergenciais, são tratados de modo isolado, sem uma política para enfrentamento do problema, o que resulta em soluções bastante diferenciadas conforme a conjuntura do momento. No acompanhamento recente de um caso crítico de contaminação por HCH (hexaclorociclohexano, popularmente chamado de BHC), em um loteamento clandestino na zona leste de São Paulo, pôde-se perceber a necessidade de uma política para o gerenciamento de áreas contaminadas.

A contaminação foi identificada em abril de 97, pelo forte odor no local recém ocupado clandestinamente por moradias em área de antiga indústria desativada. Os responsáveis pela contaminação, assim como os atuais proprietários, não foram identificados, e nenhuma medida de caráter preventivo foi efetivamente tomada pelos

órgãos públicos, limitando-se uns a informarem os outros por suas "atribuições legais". Em agosto uma escavação para implantação de rede de esgotos expôs HCH "in natura", em torrões, configurando uma situação emergencial, implicando em risco de vida por ingestão acidental. A partir daí iniciou-se um atribulado contato entre órgãos estaduais e municipais com vários conflitos de competência. Pode-se explicar parte destes conflitos pelo fato de não ser uma emergência típica, ou seja, não foi por exemplo um acidente com transporte de substâncias perigosas, onde os bombeiros e outros órgãos têm competências claras. Os próprios órgãos ambientais (CETESB e SVMA) não sabiam exatamente qual setor acompanharia o caso: de emergência, de resíduos, de controle ou de recuperação de áreas degradadas.

Conseguiu-se o isolamento da área e, enquanto se discutia como fazer a remoção do resíduo, o proprietário (representante legal do espólio da indústria) se apresentou. A CETESB pôde responsabilizá-lo, independentemente da culpa pela contaminação, através da Lei Estadual n.º 997, regulamentada pelo Decreto Estadual n.º 8.468, ambos de 1976, exigindo a remoção do resíduo e execução de um plano de recuperação.

Por fim, o proprietário se mostrou incapaz de realizar a remoção emergencial que ficou a cargo dos órgãos envolvidos, sendo o resíduo removido para um depósito provisório, encapsulado com manta de Polietileno de Alta Densidade (PEAD) com 2 mm de espessura, no Aterro Sanitário São João, fora da massa de resíduos domésticos. Não foi possível uma solução definitiva devido à falta de recursos específicos para este fim naquele momento.

Apesar da possibilidade de aplicação do Decreto Estadual citado, este é pouco específico para áreas contaminadas, referindo-se em seu título IV: "Da Poluição do Solo" apenas a resíduos e somente com 6 artigos, verificando-se a necessidade de uma legislação específica para áreas contaminadas, diferenciando-as de fontes de poluição ativas e definindo claramente o órgão público responsável.

Este órgão deve possuir uma estrutura específica e interdisciplinar para o tratamento deste tipo de problema, visto que, como dito por Diegues (1995), "*os órgãos governamentais, em geral, reproduzem a compartimentalização existente entre seus departamentos quando se propõem a estudar as questões ambientais*". Outro aspecto fundamental é a necessidade de participação da sociedade em todo o processo,

principalmente porque o assunto "áreas contaminadas" envolve noções de risco, cuja percepção é muito diferenciada e não se resume a uma definição técnica. Novamente citando Diegues (1995): "*os resultados... devem ser submetidos à crítica da sociedade, dentro de processos de consultas democráticas, as mais abertas possíveis. Essas devem incluir sobretudo a opinião das populações afetadas pelos processos de degradação ambiental*".

4.5 - Aspectos Gerais

Uma questão importante se coloca pela análise dos exemplos verificados. É imprescindível para o gerenciamento de áreas contaminadas definir o que é contaminação e qual o nível de remediação desejado para uma determinada área. Nesse sentido há uma contraposição entre a abordagem da análise de risco e a adoção de padrões de qualidade.

Segundo Sánchez (1998), a análise ou avaliação de risco é uma ferramenta empregada para avaliar o grau de contaminação de um local e estabelecer as medidas de recuperação necessárias. Contrapõe-se ao uso de padrões de qualidade, no sentido que a mesma concentração de determinada substância no solo pode representar riscos diferentes à saúde em dois locais diferentes, em função de suas características específicas que afetarão a disponibilidade e a mobilidade do poluente, e como conseqüência, a exposição das populações. A análise de risco pode fornecer uma base mais confiável para as decisões de remediação, embora necessariamente assuma hipóteses simplificadoras ou conservadoras, que tornam os resultados passíveis de manipulação.

Os padrões de qualidade ajudam na identificação de áreas contaminadas e na seleção prévia dos casos mais graves e possuem outras vantagens como: facilidade e rapidez de utilização, compreensão das questões de poluição de solos por leigos e introduz uma dimensão não negociável, reduzindo o espaço de influências políticas (Sánchez ,1998). Provavelmente a adoção conjunta das duas abordagens seja a forma mais apropriada, funcionando a análise de risco como um complemento para os padrões de qualidade. A agência ambiental de São Paulo, a CETESB, está propondo este modelo como citado anteriormente.

Segundo Beckett (1993), em geral, risco é visto como sendo função de dois grandes fatores: probabilidade que um evento, ou série de eventos de várias magnitudes, ocorra e a conseqüência deste(s) evento(s). Para eventos relativamente freqüentes pode-se calcular facilmente a probabilidade. Por exemplo, na Inglaterra o risco de morte por acidente de trem é de 0,45 a cada 10 bilhões de quilômetro viajado, enquanto que para carros é de 7 mortes para a mesma quantidade de viagens. Entretanto, para áreas contaminadas raramente ocorrem eventos perigosos e seus efeitos em geral são lentos e difíceis de medir. Ainda segundo este autor a avaliação de risco de áreas contaminadas não pode ser baseada somente no cálculo de probabilidades sem levar em conta atitudes públicas de aceitação do risco, que depende da percepção do mesmo pela população, o que é extremamente difícil de se quantificar.

A questão do risco ao Meio Ambiente é bastante controversa, em geral admite-se algum nível de contaminação dependendo da importância do meio afetado. Anderson (1990), cita situações onde a remediação não seria desejável:

- Os custos para a sociedade para a limpeza da área são tão altos que não compensam os benefícios esperados em termos de saúde pública, bem-estar e estabilidade ecológica;
- O recurso contaminado não é usado e tem baixo potencial de ser usado no futuro;
- A contaminação não irá degradar o meio ambiente em níveis inseguros e insalubres.

Reconhece-se hoje que a tecnologia disponível não pode alcançar os níveis desejados de remediação para as águas subterrâneas na maioria dos casos, porque os métodos sempre deixam uma contaminação residual, em geral relacionada à fase líquida não-aquosa (non-aqueous phase liquids - NAPL's). O método mais usado pelo *Superfund*, nos Estados Unidos ainda é o convencional bombeamento e tratamento. Outras tecnologias de tratamento *in situ* como biorremediação ou *air sparging*, são utilizadas em apenas 6% dos casos (NATO/CCMS,1998).

Uma forma de gerenciar o problema de áreas contaminadas, principalmente considerando-se o alto custo de remediação das águas subterrâneas, é adotar o conceito de perímetros de proteção para poços (PPP's) de abastecimento de modo inverso, ou seja, criariam-se áreas de proteção a partir da fonte de contaminação conhecida, estudando-se as características da pluma de contaminação. A definição de áreas de proteção para poços apresenta uma dificuldade que é a necessidade de considerar qualquer contaminante, os quais na verdade possuem condições de transporte e atenuação muito diversas. Nesse sentido o enfoque a partir da fonte de contaminação é mais objetivo, pois estuda-se uma gama de contaminantes conhecidos, inclusive podendo-se monitorar as condições reais de avanço da pluma para a definição da área de proteção.

Rebouças *et al.* (1994) colocam como uma das conclusões do trabalho de Diagnóstico Hidrogeológico da RMSP: "*Em torno de fontes potencialmente poluidoras faz-se mister a determinação de perímetros de controle, dentro dos quais fica proibido perfurar poço para água de consumo humano*". Para Hirata (1994) o traçado do perímetro de influência da atividade potencialmente contaminante (PIAPC) deve levar em conta os mesmos critérios para definição de PPP's.

Conforme Cleary (1992), a escolha do critério de delineação da área de proteção para poços depende da capacidade técnica e administrativa do órgão responsável em considerar o maior ou menor número de processos que controlam o movimento da poluição na água subterrânea. Dependendo desta capacidade pode-se adotar desde critérios mais simples até soluções sofisticadas. No caso de proteção contra fontes de contaminação ocorre o mesmo fato: dependendo do conhecimento existente sobre a pluma de contaminação e das características hidrogeológicas, poderiam-se adotar desde métodos simples como o de Raio Fixo Arbitrário ou até métodos numéricos complexos de fluxo e transporte, que levem em conta heterogeneidades existentes. Nestas áreas definiriam-se restrições de uso do solo, como por exemplo proibição de abertura de poços de captação de água subterrânea, proibição de escavações que interceptassem o aqüífero contaminado, entre outras.

Esta pesquisa enfoca mais detalhadamente duas fases do gerenciamento de áreas contaminadas, conforme CETESB (1999a): a Avaliação Preliminar e a Investigação Confirmatória, e alguns aspectos sobre recuperação.

O objetivo da etapa de avaliação preliminar é a realização de um diagnóstico inicial das áreas potencialmente contaminadas, o que será possível realizando-se levantamento de informações disponíveis sobre as áreas e inspeções de campo. Os dados coletados servem de base para o planejamento das operações seguintes, como por exemplo a definição dos pontos de coleta de amostras e a profundidade de investigação, entre outros. Podem também ser obtidas evidências que indiquem a necessidade de adoção de medidas emergenciais, visando a proteção da saúde da população ou outros bens a proteger. Objetiva também formular hipóteses sobre as características da fonte da contaminação, prováveis vias de transporte, distribuição espacial e prováveis receptores. A investigação confirmatória é feita através de métodos de *screening* que são levantamentos expeditos que tem como função confirmar ou não a suspeita de contaminação numa determinada área de interesse, através de técnicas que economizam tempo e investimentos (CETESB, 1999a).

Em USEPA (1996) encontra-se a descrição do processo para estabelecimento de um modelo conceitual para uma área contaminada, através de métodos de *screening*. Um aspecto ressaltado refere-se a necessidade de identificar e caracterizar todos as potenciais rotas de exposição e receptores, considerando as características da área, cenários relevantes de exposição e propriedades dos contaminantes presentes. Numa área de uso residencial as seguintes rotas de exposição devem ser consideradas, sendo as três primeiras as mais comuns :

- ingestão direta;
- inalação de voláteis e poeiras;
- ingestão de água contaminada;
- ingestão de alimentos produzidos na área;
- absorção dérmica.

5 - ÁREAS CONTAMINADAS PELA DISPOSIÇÃO DE RESÍDUOS

As antigas áreas de disposição de resíduos criadas sem nenhum controle, e assim como as atuais instaladas e/ou operadas irregularmente, certamente representam um grande risco ambiental. O termo "áreas contaminadas" será utilizado,

visto que a contaminação é o principal problema destes locais, que entretanto apresentam outros processos de degradação ambiental.

Na Região Metropolitana de São Paulo, de acordo com o projeto CETESB/GTZ, foram cadastradas 116 áreas de disposição de resíduos, somando cerca de 20 km^2 de superfície e 100 milhões de m^3. A maior parte dos locais estão nas porções limítrofes, entre o Município de São Paulo e municípios vizinhos; em 50% dos casos há ocupação humana em menos de 50 m de distância (Hasssuda,1997). Destas áreas, 27 encontram-se no Município de São Paulo e 11 são reconhecidas oficialmente como unidades de destinação da prefeitura, antigas ou atuais, sendo as restantes consideradas clandestinas. Das oito áreas objeto desta pesquisa, três constavam do citado cadastro (CETESB, 1999b): Lauzanne, Pedreira Itapui (como Lixão de Itaquera) e o Parque Raposo Tavares.

Conforme Fleeming (1997), a herança industrial da Europa criou em torno de 60 a 120 mil aterros de resíduos, os quais ocupam entre 800 a 1700 Km^2 de terras. Somente uma pequena proporção estava em operação. Não existe um conhecimento detalhado dos impactos ambientais desses antigos aterros na qualidade do ar, solo e água. Estimou-se que todos os aterros da Europa geravam em torno de $12,5x10^9$ m^3 de gás anualmente e apenas uma pequena parcela era recuperada. A quantidade de água subterrânea poluída aumenta entre 1 a 10% ao ano e as áreas contaminadas entre 1200 a 12000 Km^2 por ano.

São estimados mais de 50.000 aterros inativos nos Estados Unidos e estima-se que 80% estão poluindo as águas subterrâneas, segundo Lee *et al* (1995). Só na Califórnia existem mais de 2.200 aterros ativos e inativos. Para o autor, os altos custos das medidas de remediação, da ordem de várias centenas de milhares de dólares por acre, faz com que as agências ambientais não sejam muito agressivas na aplicação dos regulamentos existentes. Em alguns casos faltam normas regulamentadoras, em outros apenas vontade da agência ambiental. Por esta razão, a maioria dos aterros nos Estados Unidos continuam poluindo as águas subterrâneas e deveriam ser destinados recursos, pelo menos, para implementar coberturas impermeáveis de forma geral, e em alguns locais sistemas de bombeamento e tratamento.

Na cidade de New York foi feita pesquisa para localizar os antigos aterros (não só de resíduos) através de mapas topográficos, compreendendo o período de 1844 até

1994 (Walsh & LaFleur, 1995). Foram identificados 45.650 acres de aterros, cerca de 20% da área do estudo. Não existem dados sobre todos, mas a literatura indica que os resíduos sólidos municipais foram uma importante fonte para estes aterros. Pôde ser observada uma tendência de distribuição espacial e espessura de acordo com o tempo: sondagens feitas em 10 aterros de resíduos mostraram que os anteriores a 1950 contém grande quantidade de cinzas de carvão e são pouco espessos (3-7 m) não evidenciados na topografia; os do período seguinte possuem muita matéria orgânica, espessuras de 16 a 27 m e formam pequenas montanhas. A maior parte deles encontram-se em áreas úmidas, de influência de maré, próximos a grandes corpos d'água, favorecendo o transporte lateral do percolado e descarga local para a água superficial. Os autores concluem que os padrões verificados de acordo com o tempo devem influenciar a composição química do percolado e que são necessários mais estudos para caracterizar a importância ambiental destes depósitos, tanto em estudos locais, como regionais, de águas subterrâneas, superficiais e sedimentos.

5.1 - Avaliação Ambiental de Aterros de Resíduos Domésticos

A geração de gases e de percolado pela decomposição dos resíduos, são os principais causadores de problemas ambientais. As fases de decomposição e suas respectivas características químicas são descritas abaixo:

Etapas da decomposição de resíduos em aterros sanitários (baseado em Schalch,1984 e Rhyner *et al.*,1995):

- 1ª fase - matéria orgânica complexa é hidrolisada a compostos mais simples, pela ação de exoenzimas, na fase de decomposição aeróbia;
- 2ª fase - bactérias acidogênicas transformam a matéria orgânica hidrolisada em compostos mais simples, como ácidos orgânicos, alcoóis, gás carbônico e hidrogênio, o PH reduz e sais são solubilizados. O aumento da condutividade é uma evidência;

- 3ª fase - bactérias metanogênicas, estritamente anaeróbias, transformam os produtos finais da segunda etapa em metano e gás carbônico, principalmente.

A figura 1 descreve a variação dos parâmetros químicos em uma decomposição hipotética de resíduos domésticos em aterros sanitários em relação às fases citadas.

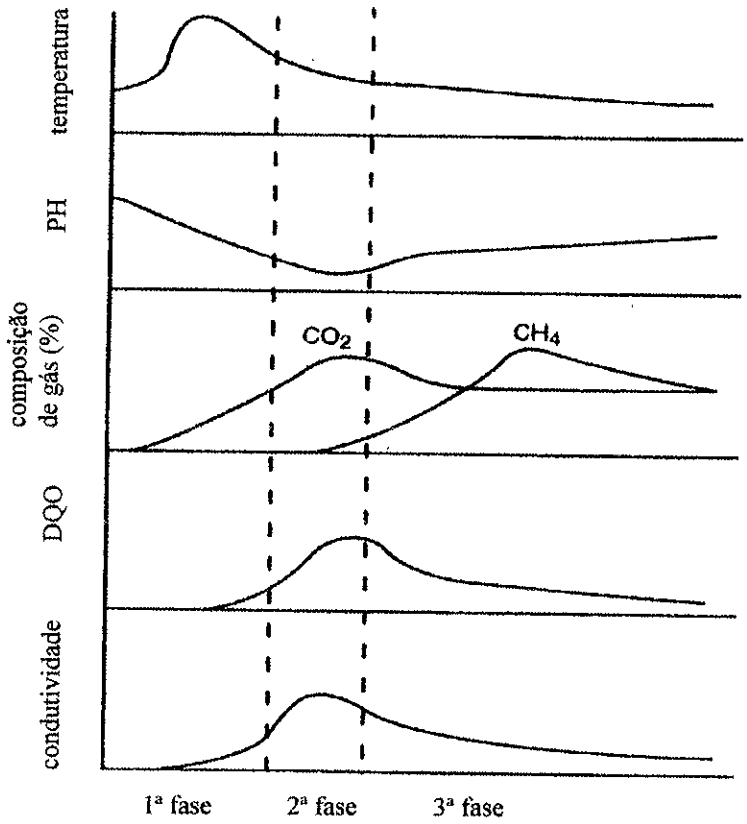

Figura 1 - Variação de alguns parâmetros químicos durante a decomposição de resíduos domésticos em aterros sanitários (Adaptado de Ham, 1979, *apud* Rhyner *et al*,1995).

O ponto crítico do processo é a última etapa, visto que as bactérias metanogênicas são muito mais sensíveis às condições desfavoráveis do meio que as acidogênicas. Para que haja decomposição contínua, faz-se necessário um equilíbrio adequado entre as bactérias formadoras de ácido e de metano. Existem condições

ideais de desenvolvimento das bactérias metanogênicas, de temperatura, PH, nutrientes, umidade e outros. A umidade não deve exceder 70%, nem cair abaixo de 40%. Materiais tóxicos inibem o processo, tais como metais pesados e sais como sódio, potássio e magnésio (Schalch, 1984).

Valores médios da composição de percolados no Brasil e Estados Unidos são mostrados na tabela 1, comparando-se com valores obtidos em aterros antigos, com mais de 20 anos. Verifica-se que as concentrações da maior parte dos parâmetros nos aterros recentes do Brasil são menores que a média dos Estados Unidos. Outro aspecto interessante é que nem todos os parâmetros diminuem nos aterros antigos, como alguns metais pesados e o nitrato, que aumentam sua concentração. Estes números são apenas indicativos e devem ser analisados com ressalvas, visto a diversidade de condições dos aterros e complexidade química do próprio percolado, que inclusive apresenta variações diárias na sua composição, dificultando a comparação.

Segundo Smith (1993), a qualidade do percolado pode ser indicativa do progresso da decomposição e do potencial de geração de gás. Por exemplo, um aterro na fase metanogênica estável, com alta atividade, possui uma razão entre a Demanda Bioquímica de Oxigênio e a Demanda Química de Oxigênio (DBO/DQO), em média, igual ou menor que 0,3. A degradação anaeróbia continua e esta razão cai para 0,1, ou menos, indicando a presença de substâncias difíceis de serem degradadas. Entretanto uma razão DBO/DQO pequena pode também indicar a presença de materiais tóxicos inibindo a degradação.

A avaliação de geração de percolado a longo prazo é um grande problema. O método mais usado é o do balanço hídrico, com variações. Entretanto estudos mostraram diferenças de 83 a 1543% nos valores previstos em relação aos efetivamente medidos. Este aspecto é importante não só do ponto de vista do controle ambiental, mas também para a previsão de recursos para o *aftercare*, que é o período que o responsável pelo aterro é obrigado a monitorá-lo. A agência ambiental americana obriga a reserva de fundos para a manutenção do aterro por 30 anos após o fechamento (Bagchi, 1990).

TABELA 1 - VALORES INDICATIVOS DA COMPOSIÇÃO QUÍMICA DE PERCOLADOS DE ATERROS SANITÁRIOS NO BRASIL E NOS ESTADOS UNIDOS.

	ATERROS DO BRASIL (1)		ATERROS DOS ESTADOS UNIDOS (2)	
PARÂMETRO	**aterro recente (1 ano)**	**aterro antigo (+ de 20 anos)**	**Variação**	**média**
PH	6,9	7,1	5-7,5	6,3
DBO	4286	55	1000-30.000	10.500
DQO	6050	96	1000-50.000	15.000
TOC	2040	38	700-10.000	3.500
Nitr. Nitrato	0,77	85	0,1-10	4
Nitr. Amoniacal	224	34	100-400	300
Ortofosfato	0,16	0,3	0,5-50	30
Cloretos	2777	520	100-2000	980
Sulfatos	218	-	10-1000	380
Sódio	1590	380	200-1500	700
Magnésio	215	35	30-500	700
Cálcio	700	230	100-3000	1000
Cromo	0,09	0,02	0,05-1	0,9
Ferro	38	0,1	10-1000	430
Níquel	0,03	0,03	0,1-1	0,5
Cobre	0,03	0,15	0,02-1	0,5
Zinco	0,20	0,95	0,5-30	21
Cádmio	0,01	0,005	0,001-0,1	0,05
Chumbo	0,08	0,06	0,1-1	0,5

Obs. : a) valores em mg/l;

b) só foram considerados os parâmetros constantes nas duas tabelas-fonte.

Fontes:
(1) CETESB (1992, *apud* HASSUDA,1997), não especificado o número de aterros analisados
(2) CH2M Hill (1989, *apud* LEE *et al*, 1994), baseado em 83 aterros durante a década de 80, não especificado se ativos ou não.

Existem várias dificuldades no adequado monitoramento da água subterrânea, em geral relacionadas à dificuldade de conhecimento das heterogeneidades do aqüífero. Principalmente em meio fraturado é muito difícil detectar a contaminação, o percolado pode passar pelas fraturas, como em condutos, através do sistema de poços de monitoramento, podendo atingir distâncias consideráveis. Os altos custos associados com a tentativa de limpeza de águas subterrâneas contaminadas por

aterros de resíduos domésticos fez com que a EPA concluísse que poços de abastecimento contaminados desta forma, deveriam ser abandonados (Lee *et al*, 1993).

Parker *et al (apud* Palmer,1996) mostrou que DNAPL's (fase líquida não-aquosa mais densa que a água) podem mover-se em fraturas em fase imiscível e por difusão entrar na porosidade da matriz da rocha. Tanto DNAPL como LNPAL (fase líquida não-aquosa mais leve que a água) podem ficar retidos em fraturas descontínuas e liberar baixas concentrações para a água subterrânea por longo tempo, tornando o processo de limpeza longo e difícil. Estes tipos de substâncias orgânicas são preocupantes, pois em baixas concentrações causam problemas à saúde e em geral são persistentes no meio ambiente.

Por estas dificuldades, conforme Lee *et al.* (1993), uma atenção particular deve ser dada para garantir que os aterros existentes não causem mais degradação, e que todas as contaminações existentes, independentemente de existir iminente perigo ao abastecimento, sejam limpas, tanto quanto possível, próximas aos valores naturais.

Gandolla *et al.* (1998), mostra exemplos de migração de gases a partir de aterros e cita que já foi detectado biogás à distância de até 1500m. Uma forma de detectar a presença de gás é a morte da vegetação, pois a oxidação do metano reduz a quantidade de oxigênio nos poros do solo, sufocando as raízes e fazendo com que a planta morra. Termografia aérea é outro método de detecção indireto, pois as áreas com presença de gás geralmente possuem temperaturas mais altas. A utilização de sensores remotos hiper-espectrais, que detectam pequenas variações na vegetação, é uma nova ferramenta que ainda está sendo testada para migração tanto de gás como de percolado, mas que deverá ter grande avanço nos próximos anos (Cummins *et al*, 1998). Certamente estes métodos não substituem as medições diretas, mas possibilitam um melhor planejamento e reduzem tempo e custo. Todavia têm utilização restrita em áreas urbanizadas.

Na Inglaterra recomenda-se não construir perto de aterros pelo menos até 20 anos após sua conclusão, mantendo-se uma distância de 50 metros de sua borda e de 10 m para jardins. Nos aterros mais antigos deve ser feita investigação para verificação da presença de gás a concentrações menores que 1% em volume total. Nos Estados Unidos adota-se a concentração de 1,25% de metano em volume, como valor a partir

do qual são necessárias medidas de remediação para nova ocupação da área. Estes padrões são considerados muito rígidos pois levam em conta um potencial de rápidas mudanças nas concentrações de gás no aterro (Smith, 1993). É muito difícil avaliar o risco por emissões de gases porque, por exemplo, a concentração de gás no solo pode variar algumas ordens de magnitude em poucas horas. Portanto é necessário medir a taxa de emissão de gás e não apenas concentrações. O problema é que existe muita confusão sobre o que significa "taxa de emissão" no contexto de um aterro. Os métodos são muito diversificados e geralmente inadequados, o que tem causado muitos problemas nas avaliações de risco. Estudos tem mostrado que sistemas passivos apenas com drenos com materiais granulares e tubos não são suficientes como medidas de proteção para uso residencial, sendo necessária a associação com membranas resistentes aos gases ou adoção de pisos suspensos (Garvin *et al.*, 1998).

No Brasil, segundo Oliveira *et al* (1998), existem poucos dados sobre quantidades de metano emitidas em aterros e discute-se muito o tempo do processo de decomposição, tendo em vista sobretudo as características do lixo urbano com grandes porcentagens de matéria orgânica e a variabilidade das condições meteorológicas de cada região. Isto faz com que os modelos matemáticos utilizados em outros países não possam ser simplesmente adotados, por causa das diferenças significativas nas condições ambientais e na composição e umidade do lixo.

Na Alemanha, Kabbe *et al* (1995), relatam que existe pouco conhecimento sobre o comportamento de longo prazo dos aterros, o que complica um adequado gerenciamento para ocupação posterior destes terrenos. As previsões de duração do período de cuidado após o fechamento vão de poucas décadas até séculos. Em um projeto desenvolvido para investigar o comportamento das emissões de aterros foram estudados, em uma primeira fase, três locais que mostraram grande dispersão na taxa de degradação da matéria orgânica. A partir de valores iniciais na deposição de 200 a 300 gramas de matéria orgânica por quilo de resíduo (considerando apenas a fração sólida menor que 20 mm), estes valores caem, após 10 anos, para valores na faixa de 50 a 150 g/Kg, mostrando grande variabilidade e possibilidade de baixas taxas de degradação. Segundo os autores os estudos continuariam com aterros fechados entre 20 e 50 anos.

Chazin *et al* (1987, *apud* Bagchi, 1990) estudando diferentes aterros em Wisconsin concluíram que Cloreto de Vinila, substância carcinogênica, é encontrado em todos os grandes aterros municipais. O mecanismo mais provável de formação seria a biodegradação a partir do Tricloroetileno, um solvente bastante comum. Hodgson *et al*, 1992 (*apud* Lee *et al*, 1994) reportou a presença de compostos orgânicos voláteis (VOC's) nas emissões gasosas de um grupo de aterros da Califórnia e que a migração *off-site* é uma ocorrência bastante comum.

A maioria dos aterros projetados nas décadas de 60 e 70 utilizavam o conceito de atenuação natural. Foi com os estudos de Bagchi (1983, *apud* Rhyner *et al.,* 1995), que se mostrou que os solos, não importando a espessura, não são capazes de atenuar todos os contaminantes. Apenas em 1991, a agência ambiental americana definiu regras para os aterros sanitários , que especificam a impermeabilização e coleta de gases e percolados. A impermeabilização de base deve constar de uma camada de argila compactada com pelo menos 60 cm e condutividade hidráulica menor que 10^{-9} cm/s e sobre esta camada uma geomembrana flexível. O sistema de cobertura deve ter uma camada impermeável de argila ou sintética e uma camada de drenagem, cobertas por uma camada de proteção de solo com 30 a 100 cm. Se a quantidade de gases coletados é pequena este pode ser queimado em *flares* especiais com controle de emissões, ou então ser recuperado para produção de energia.

Lee *et al* (1995), fazem uma discussão sobre a validade do conceito que chamaram de "túmulo seco" (*dry tomb*) para os aterros atuais, indicando que estas medidas irão estender o tempo de degradação dos resíduos, basicamente pela falta de umidade, além do tempo de resistência das estruturas de impermeabilização, que hoje não são bem conhecidos.

Segundo Mather (1994), os aterros anteriores à década de 70, em geral, eram não controlados e de pequeno tamanho. Os resíduos depositados degradavam aerobicamente com produção de água e dióxido de carbono em processo exotérmico, resultando em altas temperaturas que frequentemente causavam incêndios, queimando mais material potencialmente degradável, como madeiras e papel. Com o início dos grandes aterros controlados, a degradação aeróbia ocorre por pouco tempo em uma extensão limitada, dominando o processo anaeróbio, com produção de metano. A falta de planejamento fez aparecer os problemas com emissões gasosas no início dos anos

80. A impermeabilização superior aumenta o tempo de degradação dos resíduos, como citado anteriormente, e não há dados confiáveis sobre a durabilidade dos sistemas de impermeabilização de fundo. É possível que as duas primeiras décadas do próximo século sejam as décadas dos problemas com chorume, assim como a década de 80 foi caracterizada como a década dos problemas com emissões de gases no Reino Unido. Segundo o autor, "*do ponto de vista de um hidrogeólogo independente*", não existe razão para que aterros projetados segundo o princípio de diluição e dispersão dos contaminantes não continuem sendo usados, quando estudos detalhados mostrem sua possibilidade. Entretanto isto hoje é uma heresia no Reino Unido, e nenhum aterro conseguiria uma licença adotando este princípio.

5.2 - Recuperação de Áreas Degradadas pela Disposição de Resíduos

Na pesquisa bibliográfica realizada não se encontrou na literatura nacional exemplo efetivo de recuperação de antigas áreas de disposição de resíduos. Alguns casos identificados, na verdade, consistem na transformação de lixões em aterros "controlados", sem medidas de remediação para a poluição passada. Ainda luta-se por boas práticas nos aterros sanitários atuais, portanto os aterros antigos não são prioritários. Em 1993 houve tentativa da Secretaria Municipal do Verde e Meio Ambiente - SVMA, de execução de pesquisa em aterros desativados, inclusive prevendo-se a transferência de dotação orçamentária, hoje alocada no Departamento de Limpeza Urbana (LIMPURB) da Secretaria de Serviços e Obras (SSO). Foi feita proposta de trabalho piloto com o Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT) no Aterro de Vila Albertina, porém este trabalho não foi adiante.

Grube (1992), discute, com relativo detalhe, alguns métodos aplicados nas ações de estabilização de áreas contaminadas por disposição de resíduos, que serão resumidos a seguir:

Sistemas de cobertura : não são simplesmente capas de concreto ou de argila, mas uma combinação de materiais que são construídos em uma ordem lógica para uma função específica, nem sempre só impermeabilizar. Devem ser feitas considerando várias características do local e do entorno. Em geral são associadas com outras tecnologias.

O autor relata que coberturas bem feitas são mais exceção do que regra e mostra um esquema de cobertura padrão recomendada pela EPA, que consiste de um solo superficial vegetal, uma camada filtrante, uma camada drenante e um sistema composto de barreira da infiltração com uma geomembrana e uma camada de baixa condutividade hidráulica, como mostrado na figura 2.

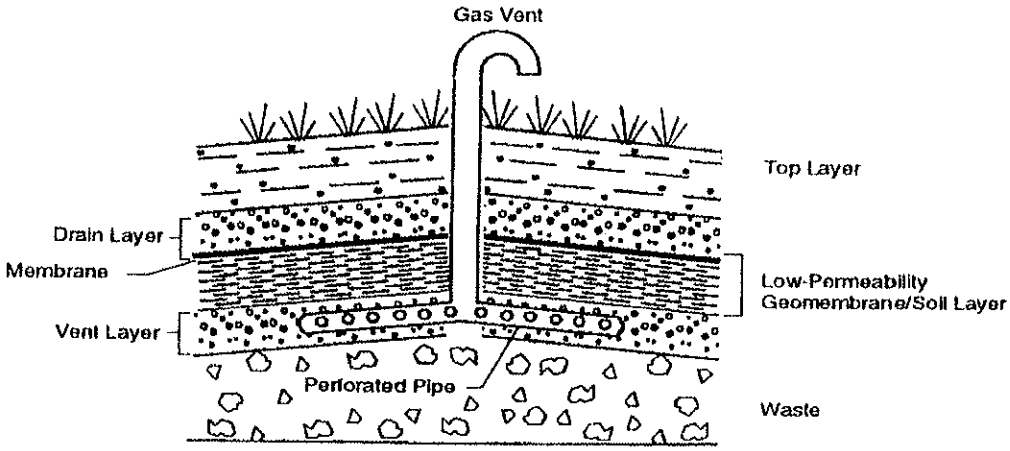

Figura 2 - Sistema de cobertura com ventilação para gás (USEPA,1991 *apud* Grube, 1992)

O controle de qualidade é feito com mais ênfase em inspeções de campo do que com rigorosos testes de laboratório. Porém, alguns parâmetros como a permeabilidade da camada de solo compactado, que deve ser menor que 10^{-7} cm/s, são controlados em laboratório. Os componentes geossintéticos são muito importantes e têm diversos usos: separadores, reforço, filtro, dreno ou barreira. Apresentam alguns problemas nas costuras e também no contato solo/membrana que pode ser um caminho preferencial de percolação. Os sistemas de cobertura, por exemplo, podem apresentar estruturas acessórias como ventilação para gás. Poucos estudos de subsidência têm sido realizados, os quais podem ser feitos através de colocação de marcos nas camadas onde são medidas variações verticais. Alguns estudos de subsidência através de medições de tensão em geotêxtil têm sido realizados.

Barreiras hidráulicas (*slurry wall*): são barreiras verticais feitas nos arredores da fonte para controlar a qualidade, fluxo e nível da água subterrânea. São feitas

basicamente com a escavação de uma trincheira em material poroso e preenchimento com material de baixa permeabilidade que em geral é uma mistura de solo enriquecido com finos ou bentonita, ou cimento com bentonita, ou ainda uma geomembrana. Deve-se ressaltar que a estrutura tem que ser vinculada com uma camada basal também de baixa permeabilidade. São feitos testes de comportamento como: medidas de permeabilidade, lixiviados, fase líquida não aquosa, que podem indicar falhas na barreira. Antes da definição por esta técnica são feitos testes de bombeamento com paredes diafragmas em menor escala para confirmar a eficiência no local.

Grouting : refere-se a métodos de injeção de misturas (em geral com cimento) para diversos usos como: selante de áreas estabilizadas, solidificação e imobilização de resíduos, em escavações para reduzir os vazios por onde a água pode infiltrar e lixiviar o resíduo, e cortinas injetadas. São métodos basicamente de sub-superfície. O grau de "colagem" e a possibilidade de infiltração adjacente à mistura injetada são questões que ainda necessitam de mais pesquisa e para essas avaliações têm sido usados métodos geofísicos.

Compactação dinâmica : são técnicas usadas para aumentar a densidade do resíduo objetivando diminuir o volume de armazenamento e melhorar a capacidade de suporte para receber a cobertura. Deve-se ter cuidado com efeitos nas estruturas vizinhas, com transmissões de vibração pelo solo, com as condições de fundação e com possíveis variações climáticas durante a execução. A avaliação da efetividade do método é feita com medições topográficas geralmente acompanhadas de algum outro método como: sondagens SPT (*standard penetration test*), CPT (*cone penetration test*), testes pressiométricos ou geofísicos.

Ainda segundo Grube (1992), é muito importante a garantia de qualidade dos métodos utilizados, ressaltando que ações de controle de qualidade e de garantia da credibilidade dos dados são essenciais nos trabalhos de recuperação. Esse controle deve iniciar logo na fase de caracterização, continuar na fase de operação e as vezes até longo tempo depois dos trabalhos de campo terem terminado.

Segundo Cairney & Sharrock (1994), sistemas de cobertura representam uma solução mais barata que outros sistemas de recuperação e nos últimos 10 anos vários foram instalados no Reino Unido. Falhas no sistema podem ter sérias conseqüências dependendo do uso futuro da área. A aparente simplicidade da solução frequentemente

obscurece este aspecto e são raros os sistemas adequadamente projetados com eficiência e com fatores de segurança especificados. No Reino Unido, o guia "Waste Manegement Paper nº 26" recomenda uma camada de argila compactada com 1m de espessura e $K=10^{-9}$ cm/s. Entretanto resultados de vários aterros monitorados têm mostrado em vários casos altas taxas de infiltração. Para estes autores a solução de cobertura é interessante nos casos de presença de vários contaminantes, naqueles com poucos contaminantes é melhor utilizar tecnologias de remediação específicas.

Montgomery & Parsons (1994, *apud* Lee *et al,* 1995) observaram quebras de alguns metros em camadas de argila compactada poucos anos após sua construção. Essas não são necessariamente visíveis, pois podem não ser transmitidas para as camadas de drenagem e de solo do topo do sistema de cobertura, recomendando-se sempre a associação com membranas flexíveis.

Com a experiência do *Superfund* desde 1980 a EPA verificou que certas áreas têm características muito similares e que portanto as medidas de remediação poderiam ser presumidas, reduzindo tempo e custo, principalmente com investigações detalhadas. Os aterros de resíduos correspondem tipicamente a este tipo de caso. Em 1993 a EPA estabeleceu a contenção como remediação presumida para aterros, incluindo os seguintes componentes (USEPA, 1997a):

- sistema de cobertura;
- controle da fonte, para contenção da pluma;
- coleta e tratamento do percolado;
- coleta e tratamento do gás;
- controle institucionais para complementar os controles de engenharia.

A remediação presumida deve enfatizar a utilização de dados existentes tanto quanto possível, a não ser que existam informações que indiquem a necessidade de investigações, como por exemplo a existência de *hot-spots*, que são áreas com resíduos perigosos. A estratégia de amostragem deve ser por fases, aumentando o grau de detalhe conforme a necessidade. Em três locais piloto, a água subterrânea foi o único meio amostrado, para determinar o risco associado e a necessidade de tratamento. O tempo médio para conduzir a fase de investigação e de estudo de

viabilidade foi de 23 meses para as três áreas piloto, enquanto para outros aterros incluídos no *Superfund* é de 51 meses, uma diferença de 45%. Em duas das áreas piloto os custos foram reduzidos em 10% em relação à média nacional, entretanto em uma das áreas, o aterro de Rockingham em Vermont, os custos foram reduzidos em 60%, quando comparado a outro aterro de mesmo tamanho. As medidas de contenção foram implementadas apenas três anos após o início dos estudos, consistindo apenas de cobertura, visto que a contaminação da água subterrânea não apresentava risco (USEPA, 1997a).

No caso de aterros que eram de propriedade ou operados (que para a legislação americana, anteriormente citada, configura a responsabilidade pelos resíduos) por estados, ou outras subdivisões políticas, 50% dos custos de remediação são de responsabilidade destes governos e o restante é assumido pelo *Superfund* (Dinan, 2000).

Gloeden (1999), aplicando um método de gerenciamento de áreas contaminadas na bacia do Guarapiranga, que é área de proteção de mananciais da Região Metropolitana de São Paulo, identificou 9 áreas de disposição de resíduos e concluiu que aqueles aterros já desativados devem receber, no mínimo, cobertura final adequada, ou serem realizadas obras para o isolamento dos resíduos, independentemente da necessidade de constatação da contaminação. Proposta semelhante à remediação presumida aplicada pela EPA, citada acima.

Um exemplo de avaliação ambiental e recuperação de aterros antigos é o aterro da cidade de Elkhart em Indiana, nos EUA, que funcionou de 1960 a 1976. Em 1974, moradores da vizinhança tiveram poços rasos contaminados, forçando o fechamento do aterro e fornecimento de água pela rede pública. Em 84 inspeção da EPA identificou contaminação das águas subterrâneas e um *hot-spot* na borda do aterro com altos níveis de compostos orgânicos voláteis. Em 92, como parte de uma ação emergencial, foram localizados e removidos 71 tambores com resíduos perigosos, embora não se tenha certeza se existem outros *hot-spot's*. O projeto de remediação prevê sistema de cobertura, controle institucional limitando uso do solo e da água subterrânea, instalação de sistema ativo de coleta e tratamento de gases e apenas monitoramento da água subterrânea, verificando a necessidade de tratamento no futuro (USEPA,1999).

Uma nova concepção é o aproveitamento dos resíduos aterrados, também chamada mineração de aterros (*mining landfill*), através da escavação, separação e reciclagem dos materiais (USEPA,1997b). Os principais benefícios são: rendimentos com os materiais reciclados, aperfeiçoamento das camadas de impermeabilização, remoção de resíduos perigosos, reutilização da área com a remoção total e redução dos custos de fechamento e remediação. As principais desvantagens são: manuseio de materiais perigosos, controle de gases e odores e custos com equipamentos. Alguns estados como New York and New Jersey estimulam esta atividade com financiamentos específicos.

As preocupações com os problemas de longo prazo já fazem parte dos projetos de instalação de aterros sanitários, sendo que o uso futuro do solo pode ser planejado em conjunto com a operação do mesmo. Por exemplo, a área pode ser planejada para um parque com vias preparadas sem resíduos orgânicos e o aterro formando paisagens de colinas e não extensos platôs como normalmente é feito. Para que uma área de aterro seja reutilizada os seguintes pontos devem ser atendidos (Matsufuji,1990):

- Os recalques devem ser insignificantes;
- As condições de fundação devem ser suficientes para as cargas previstas;
- Não deve haver riscos de escorregamentos;
- Não deve ocorrer emissão de gases;
- Não deve ocorrer contaminação das águas subterrâneas;
- Deve ser possível o crescimento de vegetação sobre o aterro.

Mesmo que todas estas condições não sejam satisfeitas é possível utilizar a área com adequadas medidas de proteção. Para a decisão se um antigo aterro está estabilizado os seguintes aspectos devem ser monitorados (Matsufuji,1990):

- taxa de recalque;
- qualidade do lixiviado;
- qualidade e quantidade do gás produzido.

6 - BREVE HISTÓRICO DA LIMPEZA URBANA NO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO

A seguir se apresentará de forma sucinta a evolução do sistema de limpeza pública na cidade de São Paulo, com ênfase nos aspectos relacionados aos aterros e particularmente àqueles que são objeto desta pesquisa e que foram os primeiros aterros chamados de "sanitários", realizados oficialmente (através de contratos) pela prefeitura, em meados da década de 70.

Já no século XVII a cidade de São Paulo, então Vila de Piratininga apresentava problemas de limpeza. Segundo Rocha (1993) os editais da Câmara sucessivamente "*assentavam proclamas*" para que "*todos os que tivessem chãos ao longo desta vila, os mandem carpir e alimpar, dentro de oito dias com penas de mil réis para os transgressores*". Ainda segundo o autor, possivelmente o primeiro registro oficial da implantação de lixões, seja o registro do edital da Câmara de 15 de outubro de 1722:

> "*Os oficiais do Senado da Câmara desta cidade de São Paulo que presente ao servimos pela ordenação de Sua Majestade que Deus guarde, fazemos saber a todos os moradores desta cidade, de qualquer qualidade e condição que sejam, que daqui em diante façam botar os ciscos e os lixos de suas casas nas paragens declaradas a saber, nas covas que ficam abaixo das casas de Garcia Roiz Velho e nas covas que estão atrás da Misericórdia Nova e nas covas que estão de fronte de Santa Tereza e somente o façam nestas paragens e as pessoas que fora destes lugares botarem os tais lixos serão condenadas por cada vez em seis mil réis sem que lhes sirva de desculpa ignorarem onde seus servos botam tais lixos, pois o deverão examinar e fazer executar como pelo que o presente quartel ordenamos*".

Vê-se que já na ocasião aproveitavam covas (ou cavas) existentes para disposição dos resíduos, prática que continua até hoje com o aproveitamento de cavas de mineração exauridas.

Em relatório de LIMPURB (1999), encontra-se um bom histórico da limpeza urbana no município de São Paulo que será resumido a seguir.

O início das atividades organizadas de limpeza pública em São Paulo ocorreu com o primeiro contrato de prestação de serviços firmado entre a Câmara de Intendência e o sr. Antônio Francisco Dias Pacotilha em 1869, época que a remoção de resíduos era realizada por carroças e assim continuou até a década de 50. No início do século os resíduos domésticos apresentavam concentrações superiores à 80% de matéria orgânica, uma vez que não era praticada a industrialização dos alimentos e não eram comercializados jornais e revistas nas quantidades que o são atualmente. Desta forma, estes resíduos se prestavam para adubo na agricultura e assim foram utilizados até que autoridades sanitárias exigiram tratamento prévio antes do fornecimento aos chacareiros. A partir do ano de 1925, a Prefeitura passou a utilizar o processo de fermentação anaeróbia denominado de fermentação zimotérmica, onde ocorria a fermentação dos resíduos em tanques que eliminavam uma parcela considerável dos organismos patogênicos (LIMPURB, 1999).

Em 1970 foi inaugurada a primeira usina de compostagem do Município de São Paulo: a usina de São Matheus, seguindo-se a inauguração quatro anos depois da usina de Vila Leopoldina. As duas usinas foram tendo suas capacidades aumentadas e hoje continuam operando com capacidade de processar 1350 t/dia o que significa cerca de 10% dos resíduos coletados em São Paulo. No início de sua operação certamente este percentual era muito maior.

O resíduo não aproveitado como adubo era incinerado. Em 1913 foi instalado o primeiro incinerador no bairro do Araçá (Sumaré), que queimava o equivalente a cem carroças por dia de resíduos domiciliares. Este incinerador funcionou até 1940 e notícias dos jornais da época relatavam que sua capacidade já era insuficiente para eliminar o total de resíduos coletados na cidade. O novo incinerador de Pinheiros só começou a funcionar em 1949, sob acusações que seria ineficiente e muito dispendioso para a Prefeitura. Entretanto o mesmo operou até 1990, quando foi desativado por ter sua tecnologia ultrapassada. Dois novos incineradores foram instalados: o de Ponte Pequena, que funcionou de 1959 a 1997, e o de Vergueiro, inaugurado em 1968 e que opera até hoje, apenas para resíduos hospitalares (LIMPURB, 1999).

Provavelmente até meados dos anos 60, dado o aproveitamento da maior parte do lixo como adubo e a existência dos incineradores, uma parcela menor deveria ser

destinada a lixões, ou seja, a cidade não dependia tanto, como hoje, da disposição em aterros. A localização de alguns desses locais é citada por Krystalas (1993):

- R. Pedro de Toledo (pioneiro da cidade);
- Av. General Olímpio da Silveira;
- Av. Santa Marina, margem Tietê;
- R. Sumidouro, em Pinheiros;
- Glicério e Jd. América (locais não especificados).

Essas áreas foram pesquisadas em fotos aéreas de 1940 e 1954, mas não foram observadas evidências de depósitos de resíduos.

Relatório interno do Engº Flávio Cezar Mallone, Diretor da Divisão de Aterros Sanitários, sem registro de data, retrata as condições que propiciaram o início da implantação dos aterros e porque foram realizados:

> *"Em 1974 foi implantado o primeiro aterro sanitário do município, o de Lauzane Paulista. Até aquele ano proliferavam em terrenos baldios as descargas clandestinas, gerando lixões, onde as pessoas, as indústrias e inclusive os veículos da prefeitura lançavam resíduos. A operação dos lixões não tinha planejamento algum, havendo no máximo um trator para espalhar o lixo. A existência de catadores era a regra e na maioria das vezes moravam no próprio lixão. O fogo era uma constante. No lixão do Km 14 da Raposo Tavares ocorriam acidentes quase que diários por falta de visibilidade na pista, além da poluição atmosférica. Os aterros sanitários eliminavam esses principais transtornos e também representavam uma solução econômica para a recuperação de áreas inúteis para a população como alagados, lagoas e cavas de mineração."*

Essas áreas estavam se valorizando para loteamentos com a expansão urbana e o aterramento com lixo deveria ser uma boa alternativa para seus proprietários. Ainda segundo Mallone, o aterro de Lauzane Paulista nasceu de um apelo da população para aterrar a lagoa existente, responsável por vários afogamentos. No lixão da

Raposo Tavares houve necessidade de apagar o fogo que tomava conta da quase totalidade da área do aterro. Durante vinte dias, em agosto de 1975 foram descarregados milhares de metros cúbicos de terra para abafar o fogo e cobrir o lixão. Sobre esta base foi reativada a descarga já nos moldes de aterro sanitário.

Mendonça (1979), relata que em junho de 76 foi iniciado o aterro de Vila São Francisco e terminado a 28 de julho, pouco mais de um mês portanto. Este aterro foi considerado pelo autor um "custo social", pois foi realizado atendendo-se aos insistentes pedidos dos moradores, preocupados com a existência de uma lagoa no local, responsável pelo afogamento de diversas crianças do bairro. Provavelmente a expressão "custo social" refere-se à execução fora dos padrões técnicos que então eram adotados, devido a pequena dimensão da área que não justificava os investimentos. Dentro do mesmo espírito foi iniciado em janeiro de 77 e terminado em março do mesmo ano, o chamado aterro do Carandiru. A peculiaridade maior deste aterro é que foi realizado dentro das muralhas do Presídio Feminino, que necessitava recuperar a área para utilização futura. Mendonça (1979) relata ainda que o Aterro Sanitário de Vila Albertina, iniciado em 77, estava sendo realizado estritamente dentro do projeto, o que nos indica que os outros não seguiam exatamente os preceitos dos projetos realizados. Na divisão técnica de Aterros Sanitários do Departamento de Limpeza Urbana (LIMPURB) foram localizados projetos de três áreas, das oito inicialmente executadas: Raposo Tavares, Pedreira CIT e Pedreira Itapui. Para os aterros de Lauzanne Paulista e Jardim Damasceno foram localizadas plantas isoladas.

O edital do primeiro contrato de execução de aterros sanitários, constante do processo administrativo da Prefeitura de São Paulo nº 73.038/1974, definia prazo de 5 anos de duração e trazia as especificações dos serviços, dentre as quais destacamos :

- Os locais não eram pré-definidos, o projeto deveria ser concluído quinze dias após a ordem de implantação em local indicado pela Prefeitura;
- O projeto deveria especificar funcionamento e instalações, incluindo eventual (grifo nosso) sistema de drenagens ;
- Previa drenagem das águas em casos de lagoas, entretanto deveriam ser realizados preferencialmente em terrenos secos. Constava como regra: "*se feito em*

lagoa, secar até 60 dias depois de colocado o lixo, que é o período crítico da fermentação";

- Todo e qualquer resíduo deveria ser recebido, exceção de animais mortos de grande porte e resíduos patológicos, que deveriam ser encaminhados aos incineradores;
- Deveria executar células de 2 a 4 m de altura, cobertas no final do dia com terra com 15 a 30 cm de espessura. O cobrimento final deveria ter no mínimo 60 cm .

Os aterros realizados sob este contrato, que são objeto desta pesquisa, hoje são considerados pela prefeitura como "desativados" e estão relacionados na tabela 2 e localizados na figura 3.

TABELA 2 - PRIMEIROS ATERROS "SANITÁRIOS" DA CIDADE DE SÃO PAULO (Fonte: LIMPURB,1995)

ATERROS DESATIVADOS	início	encerramento	quantidade de resíduos (10^3 t)	uso atual
Lauzanne Paulista	02/74	11/74	307	comercial
Jd. Damasceno	02/75	11/75	187	residencial
Vila São Francisco	06/76	07/76	51	livre
Carandiru	01/77	03/77	23 *	comercial
Pedreira Cit	02/77	01/78	563	livre
Engº Goulart	04/75	01/79	1764	parque
Paposo Tavares	07/75	08/79	1857*	parque
Pedreira Itapuí	12/78	11/79	576	residencial (parcial)

(*) Referem-se a valores medidos no âmbito do contrato de disposição como aterro "sanitário", entretanto estes locais eram antigos lixões e portanto as quantidades são muito maiores.

Para o aterro da Pedreira Itapui conseguiu-se cópia do documento intitulado: "Termo de entrega de área aterrada", firmado entre a prefeitura e o proprietário, onde é registrado que a área *"ficará inaproveitável para loteamento ou edificações durante o período de 10 anos"*. É registrado também que foi feito contrato de arrendamento sem qualquer compensação econômica, mecanismo que provavelmente era utilizado em todas as áreas particulares.

Deve-se ressaltar que estas especificações condiziam com o conhecimento técnico da época, conforme verificou-se na revisão bibliográfica, quando se acreditava que a decomposição ocorria de forma muito mais rápida e confiava-se nos mecanismos de atenuação natural do solo.

Na verdade, a execução dos aterros representou um avanço no sentido de tratar a disposição de lixo como obra de engenharia e significou um pioneirismo da cidade de São Paulo, no Brasil. Outro contrato, com prazo de 54 meses, foi formalizado em 1980 basicamente com as mesmas considerações técnicas citadas. Todos aterros implantados após o primeiro contrato estão localizados na figura 3 e relacionados com suas principais características na tabela 3.

Ainda em 1974 foi concebido o PROJETO RARES (Recuperação de Áreas por Resíduos Sólidos) com o objetivo de recuperar áreas de mineração (LIMPURB, 1974). A primeira área escolhida foi o aterro de Engº Goulart, em região formada por grande número de lagoas provenientes de antigos portos de areia, na várzea do Tietê.

Este projeto deveria estar integrado num planejamento geral de urbanização desta várzea, coordenado pela Empresa Municipal de Urbanização (EMURB). Aparentemente divergências com o governo estadual e a implantação do parque ecológico do Tietê, em 1978, não permitiram sua continuidade, visto que previam uma utilização da área por cerca de 10 anos, fazendo inclusive, investimentos de vulto como 2Km de rede elétrica. Ocorreram também dificuldades técnicas como a enchente de 1976, quando o nível d'água subiu 1,5 m, destruindo diques e estradas, dificultando os serviços e obrigando a bombear novamente lagoas já prontas para operar.

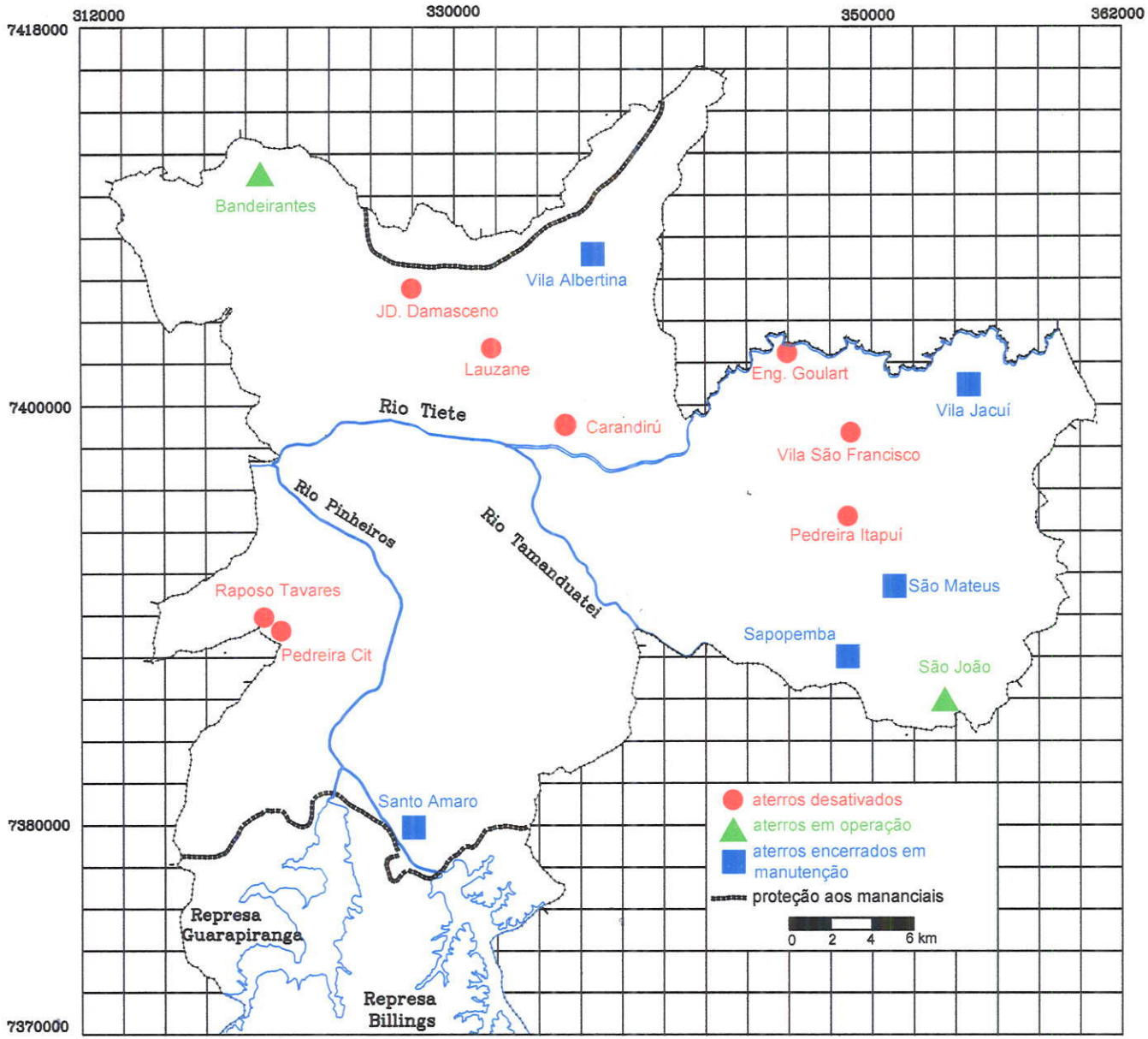

FIGURA 3 - Mapa com a localização dos aterros no Município de São Paulo

(sobre base digital elaborada por DPA/SVMA)

TABELA 3 - ATERROS SANITÁRIOS, ATIVOS OU ENCERRADOS EM MANUTENÇÃO, DA PREFEITURA DE SÃO PAULO. (Fontes: LIMPURB, 1999 e LIMPURB, 1995).

ATERRO	INÍCIO	FIM	QUANTIDADE DE RESÍDUOS (10^3 t)	SITUAÇÃO ATUAL [1]
Sítio São João	1992	----	13.800 [2]	Operação prevista até 2001, totalmente impermeabilizado, chorume coletado, monitoração geotécnica e de água subterrânea
Bandeirantes [3]	1979	----	27.200 [2]	Operação prevista até 2001, parcialmente impermeabilizado, chorume coletado, monitoração geotécnica e de água subterrânea
Santo Amaro	1976	1995	16.216	Sob manutenção e vigilância. Não impermeabilizado. Chorume coletado parcialmente. Monitorado geotecnicamente
Vila Albertina	1977	1993	9.214	Sob manutenção e vigilância. Não impermeabilizado. Chorume coletado parcialmente. Monitorado geotecnicamente
Jacuí	1980	1988	2.488	Sob manutenção e vigilância. Não impermeabilizado.
São Mateus	1984	1985	1.054	Sob manutenção e vigilância. Não impermeabilizado.
Sapopemba	1979	1984	2.728	Sob manutenção e vigilância. Não impermeabilizado.

NOTAS :
(1) - O chorume coletado nos aterros é levado para estações de tratamento da SABESP, que em troca, conforme convênio, deposita o lodo das estações nos aterros.
- A monitoração geotécnica inclui medidores de nível d'água e marcos superficiais para controle topográfico das movimentações.
- Tanto a monitoração geotécnica como a de águas subterrâneas são acompanhadas pelo órgão de controle ambiental estadual.
(2) As quantidades referem-se a capacidade total prevista até o fechamento;
(3) O aterro Bandeirantes é constituído por cinco sub-aterros, três encerrados e dois em operação, que atenderam exigências do órgão ambiental estadual.

Como justificativa para o projeto citavam que a área metropolitana de São Paulo possuía além das várzeas alagadas imensas áreas de topografia inadequada para uso urbano, cuja perspectiva de recuperação, através de aterro sanitário, assegurava ao projeto RARES continuidade, praticamente indefinida, paralelamente ao desenvolvimento da metrópole. Entretanto não foram encontrados documentos que registrassem a continuidade do projeto, embora a prática de aterramento de antigas cavas continuasse, como por exemplo com os aterros de Vila Jacuí e Vila Albertina, sem nenhum plano de urbanização associado.

Devido à necessidade dos aterros sanitários, em 1977 foi elaborado o primeiro plano diretor de resíduos que selecionou 18 áreas potenciais para aterros e 17 áreas para estações de transbordo. A maioria destas áreas sequer chegou a processo de desapropriação, perdendo-se a oportunidade de reservá-las para o futuro. Dentre as recomendações do plano constavam o equacionamento, a longo prazo, da disposição de resíduos sólidos e o controle da disposição de resíduos industriais, o que só ocorreu a partir de 1989. Até este ano os resíduos sólidos industriais eram coletados e dispostos junto com os resíduos domiciliares (LIMPURB,1999).

Em 1976 iniciou-se a experiência de aproveitamento do gás de aterros através de um convênio entre COMGÁS e LIMPURB, com uma estação experimental de captação e armazenamento no Aterro Raposo Tavares. Inicialmente foi feita distribuição de gás para 26 residências a cerca de 700m do aterro. Devido o poder aquisitivo baixo destes moradores, não puderam arcar com os custos das instalações, passando-se o gás para uso industrial, sendo utilizado em uma fábrica de cerâmica também nas redondezas. Com os altos custos dos derivados de petróleo em meados da década de 70, foram iniciadas várias pesquisas para aproveitamento em veículos. Em 1982 inaugurou-se usina piloto no Aterro Santo Amaro que mostrou bons resultados e em 1985 inaugurou-se usina para 7 ônibus adaptados para a Companhia Municipal de Transporte Coletivo - CMTC (Mendonça *et al*, 1987). Estas experiências foram abandonadas por motivos econômicos e hoje não se faz aproveitamento do biogás, embora toda a disposição de resíduos no município de São Paulo esteja concentrada em dois aterros o que facilitaria o aproveitamento. Foi feita licitação recentemente na Secretaria Municipal do Verde e Meio Ambiente para concessão do aproveitamento do biogás que foi vencida por dois consórcios, um para cada aterro em operação, que possuem participação de empresas estrangeiras. A licitação prevê a conversão em energia elétrica no próprio aterro, cuja compra seria garantida pela prefeitura, mas até hoje as instalações não foram iniciadas.

Hoje a situação é razoavelmente controlada, do ponto de vista ambiental, em relação aos dois aterros ativos da cidade: Aterro Bandeirantes e Aterro São João, embora apenas este último tenha sido realizado adequadamente desde a sua implantação em 1992, com Estudo de Impacto Ambiental (EIA) e impermeabilização em toda a sua extensão. Estas unidades recebem 94% dos resíduos domiciliares

coletados em São Paulo, o que hoje representa cerca de 12.000 toneladas ao dia, divididas mais ou menos igualmente entre os dois aterros (LIMPURB, 1999).

Segundo o Inventário Estadual de Resíduos Sólidos Domiciliares realizado pela CETESB (1999c), as atuais instalações do Município de São Paulo receberam, em avaliação realizada em 1998, as seguintes notas : 8,3, para o Bandeirantes e 8,5 para o São João, em um máximo de 10, sendo consideradas em condições adequadas. Este inventário baseia-se no Índice de Qualidade de Aterros de Resíduos (IQR) que permite o enquadramento dos sistemas analisados em três condições: inadequadas, controladas e adequadas. Entretanto, no restante do estado a situação ainda é preocupante: em 1998, 56,4% dos municípios apresentavam condições inadequadas de disposição.

7 - AVALIAÇÃO AMBIENTAL PRELIMINAR DOS ATERROS DESATIVADOS

A avaliação realizada baseia-se no conceito da CETESB (1999a), anteriormente descrito, fundamentando-se no cruzamento de informações sobre as características do local de disposição com o meio-físico onde se insere, verificando indícios dos processos de degradação atuantes e, principalmente, possíveis receptores dos efeitos destes processos. Não será utilizado um sistema de pontuação, como proposto por Hassuda (1997) ou Gloeden (1999), no âmbito de um gerenciamento de áreas contaminadas, visto que são apenas oito áreas que, para efeito de priorização, devem ser consideradas em conjunto com todas as outras áreas de disposição de resíduos da região de interesse, seja a cidade de São Paulo, a Região Metropolitana, ou ainda a Bacia do Alto Tietê, dependendo de qual órgão for atuar na recuperação.

Os principais dados, como ano de implantação e fechamento, localização, quantidade de resíduos depositada, foram obtidos em relatório interno de LIMPURB (1995), que não será continuamente citado. Há grande diversidade no nível de conhecimento de cada área, que dependeu dos dados que puderam ser obtidos, sendo que para algumas foram até localizados projetos que as caracterizam com relativo detalhe. Obviamente, nem todos os dados que foram obtidos serão mostrados na

forma original, apenas alguns mais significativos, ou a título de exemplo serão reproduzidos. Estas áreas foram cadastradas no Departamento de Controle (DECONT) da Secretaria Municipal do Verde e Meio Ambiente (SVMA), onde os dados originais podem ser consultados.

Inicialmente, se apresentará algumas características gerais dos aterros e a seguir a avaliação ambiental para cada local específico, apresentando-os por ordem da data de encerramento, do mais antigo para o mais recente.

7.1 - Características Gerais

A maioria dos aterros foram implantados em antigas cavas de mineração de areia ou pedreiras, ou ainda para tornar plano as cabeceiras e linhas de drenagem (os chamados grotões), práticas que já eram comuns com os lixões. Alguns deles no início foram lixões e, posteriormente, passaram a ser operados como aterros sanitários, como o Raposo Tavares e Carandiru. A diferença básica consistia na execução de cobertura do lixo, a fim de evitar os principais transtornos à população.

Deveriam ser executadas células de 2 a 4 m de altura, compactadas com trator de esteira e cobertas no final do dia com terra com 15 a 30 cm de espessura. O cobrimento final, após encerramento, deveria ter no mínimo 60 cm. Para poder executar as células, os locais alagados (a maioria deles) deveriam ser secos através de contínuo bombeamento, a partir de um sistema de drenagem basal em forma de "espinha de peixe". O bombeamento era mantido até seis meses após o encerramento da disposição e o líquido coletado era lançado na drenagem superficial mais próxima. Eram implantados drenos verticais para gases, mas de maneira inadequada e/ou insuficientes. No aterro de Lauzanne Paulista é citado que o dreno de gás consistia na colocação de brita dentro de tubos metálicos que eram removidos com o contínuo alteamento do aterro, permanecendo a brita com a função drenante. Certamente deformações da massa de lixo inutilizavam rapidamente este tipo de dreno.

Na época acreditava-se que a atenuação natural era suficiente para não causar efeitos mais graves. Também não havia uma preocupação em proteger as águas subterrâneas e nenhuma das áreas foi efetivamente impermeabilizada, assim como não havia tratamento para o líquido percolado que era bombeado para drenagens

superficiais. Entretanto, no aterro de Engº Goulart foi feita a primeira experiência com lagoas de tratamento, que foi descrita em seu item específico.

A característica geral mais importante é que nestes aterros também eram dispostos resíduos industriais, inclusive o projeto do aterro Raposo Tavares citava como um ponto favorável sua localização próxima às industrias. Na segunda metade da década de 70, quando estes aterros foram realizados, a cidade já se encontrava plenamente industrializada. Logo deve-se esperar que grandes quantidades de resíduos industriais tenham sido depositadas. Segundo as especificações do contrato anteriormente citado, apenas os animais mortos e resíduos patológicos (provavelmente referiam-se a todos resíduos hospitalares) eram destinados aos incineradores.

7.2 - Aterro Lauzanne Paulista

Foi iniciado em fevereiro de 1974 e encerrado em novembro do mesmo ano. Teve uma duração de 10 meses, tendo sido depositadas 307.000 toneladas de resíduos em uma antiga cava de pedreira de granito, a qual foi desenvolvida abaixo do nível freático local, formando uma lagoa com a paralisação do rebaixamento deste nível.

A figura 04 mostra as fotos aéreas com a situação antiga, em 1973, e atual, em 1997, com a área da cava totalmente ocupada pelo galpão de um supermercado e seu estacionamento. É interessante notar que antes do aterro sanitário os arredores já possuíam uso residencial bastante denso. A figura 05 indica a localização da área.

Menezes (1976) descreve alguns aspectos da execução deste aterro : *"O esvaziamento da lagoa de Lauzanne Paulista foi conseguido em 45 dias ....Foram realizadas neste local oito células de lixo. A cada 30 metros foram construídos drenos verticais, que consistiram da colocação de pedra britada no interior de tubos de chapa metálica de 12" de diâmetro de 1,5 m de comprimento que, progressivamente levantados cada vez que subia o nível da superfície do aterro, deixavam no interior as pedras, em formação tubular".*

A cava foi aterrada formando uma superfície plana, no mesmo nível da Av. Adolfo Coelho, de modo que ainda hoje é visível a parede rochosa da pedreira. A espessura máxima de resíduos é de 22m, conforme relatório de LIMPURB. Algumas

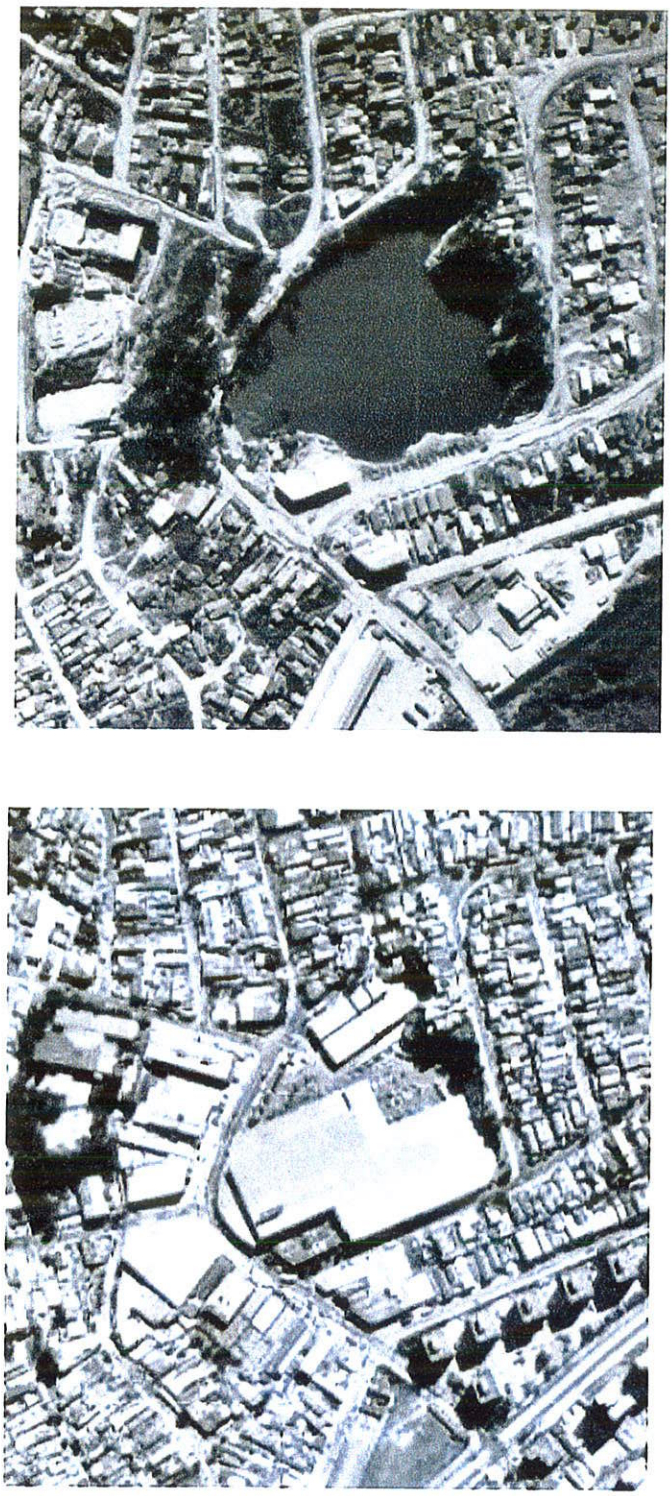

FIGURA 04 - Acima, foto aérea de 1973, mostrando o lago formado pela cava da pedreira. Abaixo a área em 1997, já ocupada pelo supermercado. (Fontes: acervos de SEMPLA e SVMA)

Figura 05. Localização da área de disposição de resíduos
ATERRO LAUZANNE PAULISTA
(sobre base digital - GEOLOG/PRODAM)

fotos antigas, do projeto RARES (Recuperação de Áreas por Resíduos Sólidos) citado no item sobre o histórico, ilustram o modo de execução do aterro e características da área, reproduzidas na figura 06.

Segundo informações verbais do Engº Zeev Moise de LIMPURB, pouco tempo após o fechamento do aterro houve um evento de migração de gases para um pequeno mercado que já existia ao lado da área aterrada. Devido aos recalques posteriores, novamente houve formação de um pequeno lago que teria sido aterrado obstruindo os drenos de gases e forçando a migração lateral. Nesta época, ainda segundo o engenheiro, foram feitas trincheiras drenantes na superfície para escape dos gases, cujos serviços foram acompanhados pela CETESB. Entretanto, não foram encontrados registros nos arquivos consultados na seção de resíduos sólidos daquela companhia. Segundo funcionários do supermercado, o mesmo foi construído em 1984, provavelmente após os 10 anos estipulados em acordo com a prefeitura. Após dois anos elevados recalques destruíram o piso, que foi refeito de modo reforçado, e desde então não observam mais problemas relativos ao aterro.

Atualmente toda a superfície do aterro encontra-se impermeabilizada quer pelo piso do supermercado, quer pela pavimentação do estacionamento (foto 01). Não foram observadas evidências de recalques. Contornando toda a antiga cava, junto ao talude de rocha, existe uma valeta de drenagem superficial, que apresentava uma das caixas de passagem com água acumulada, onde pode-se observar a formação intensa e constante de bolhas de ar, certamente devido a presença de gás do aterro, visto que não havia nenhuma evidência de existência de esgotos. Possivelmente a drenagem de gases corretiva, anteriormente citada, foi conectada à drenagem de águas superficiais neste ponto, o que explicaria a formação constante de bolhas. Esta observação mostra que o aterro continua gerando razoável quantidade de gases, mesmo após os 26 anos de fechamento.

Quanto às águas subterrâneas não foram localizados poços nas proximidades e toda a região é servida por rede de abastecimento. A cava está contígua à várzea de um córrego afluente do córrego Mandaqui, a uma distância de cerca de 120 metros do mesmo, que possui canalização fechada. Apesar da proximidade com este ponto de descarga, o fato dos resíduos estarem em contato direto com o aqüífero fraturado até à profundidade de 22m da superfície, indica que pelo menos uma parte da contaminação

FOTO 01 - Estacionamento do supermercado ao lado do talude da antiga pedreira.

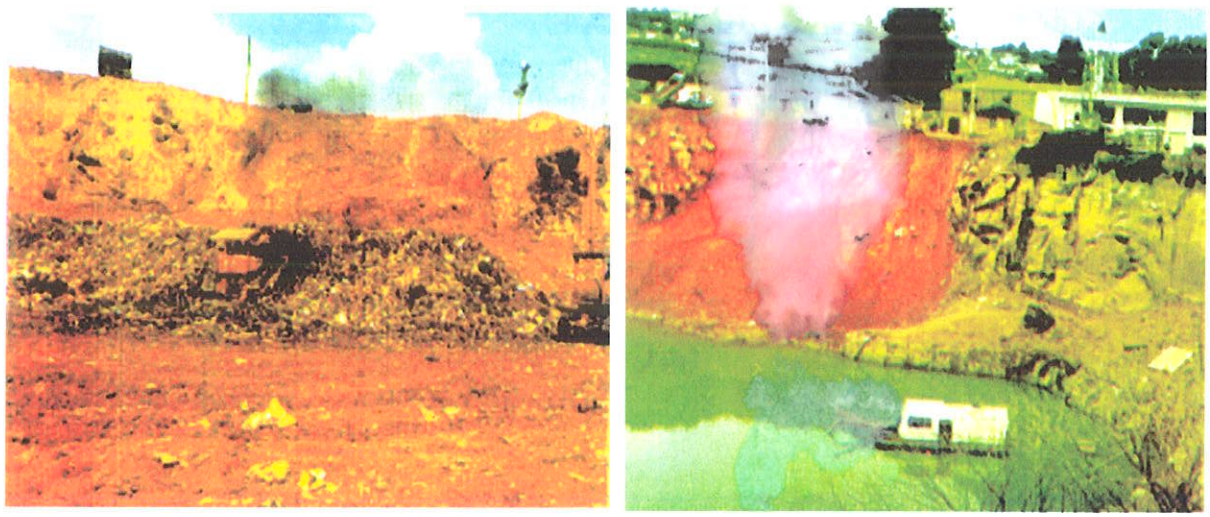

FIGURA 06 - Fotos da execução do aterro. À direita lagoa sendo esgotada e à esquerda execução da célula de lixo. Fonte: acervo LIMPURB.

deve afetar águas subterrâneas mais profundas, possivelmente relacionadas a um sistema de fluxos de caráter mais regional, principalmente pelo fato de que a pedreira encontra-se sobre a falha do mandaqui, definida por Almeida (1955). Este autor descreve o afloramento "logo à entrada da Pedreira" com uma faixa de brecha autoclástica passando localmente a milonito, com até cerca de 2 m de largura, orientada a 40° NE.

Almeida (1955) cita a existência de fontes de águas radioativas naquela pedreira e em outras da zona norte, como um dos indícios da origem tectônica, por reabertura de falhas antigas, para a bacia de São Paulo e relata : *"a associação do fenômeno de emergência da água a espaços abertos nessa zona de fraturas parece-nos fora de questão"*. Essas observações indicam a existência de fluxo ascendente nestas estruturas que é um aspecto favorável para a não migração da contaminação em profundidade. Entretanto a extensa urbanização e intensa utilização das águas subterrâneas, desde então, podem ter alterado estes fluxos, sendo necessárias investigações mais detalhadas sobre este aspecto.

7.3 - Aterro Jardim Damasceno

T 3098

Foi operado durante 10 meses entre fevereiro de 1975 e novembro do mesmo ano, recebendo 187.000 toneladas de resíduos. Segundo Menezes (1976) aproveitou-se o aterro para regularizar um grotão existente numa área destinada a ser loteada. Posteriormente, o aterro estendeu-se por uma área vizinha para elevação de seu nível. A espessura máxima de resíduos no eixo do antigo vale é de cerca de 15 m. Na margem direita do córrego Bananal, a área de várzea foi alteada recebendo uma célula de lixo com cerca de 5m de espessura média. Este aterro pode ser dividido em duas áreas bastante distintas separadas pelo córrego. Na margem esquerda foi desenvolvido aterro de encosta preenchendo um fundo de vale, atualmente ocupado por favela; e na margem direita foi executado um alteamento da várzea , hoje ocupada por loteamento clandestino.

A figura 07 mostra a localização das áreas aterradas e a figura 08 as fotos aéreas com a situação anterior, em 1967 e próxima à atual, em 1997. Este aterro estava com a localização errada no relatório de LIMPURB (1995) que indicava uma

INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS - USP
— BIBLIOTECA —

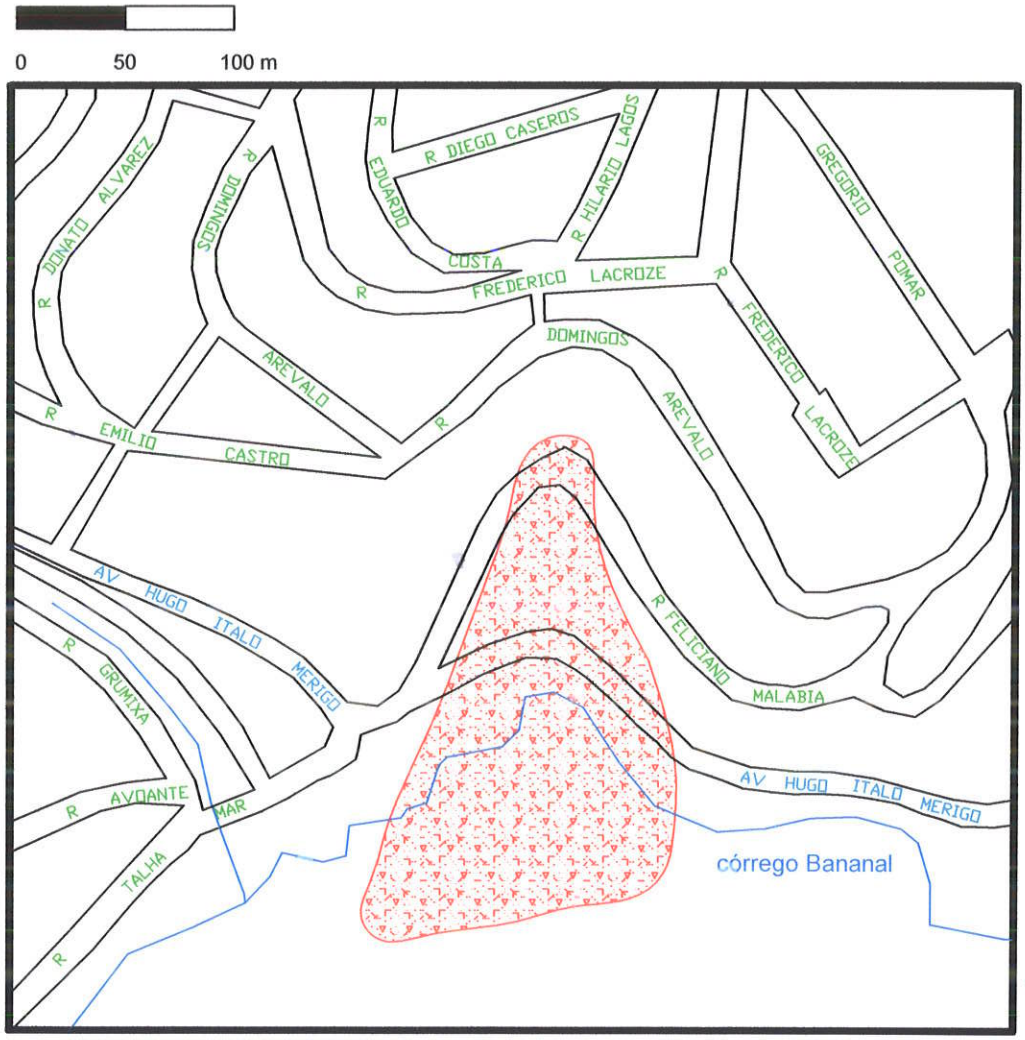

Figura 07. Localização aproximada da área de disposição de resíduos
ATERRO JARDIM DAMASCENO
(sobre base digital - GEOLOG/PRODAM)

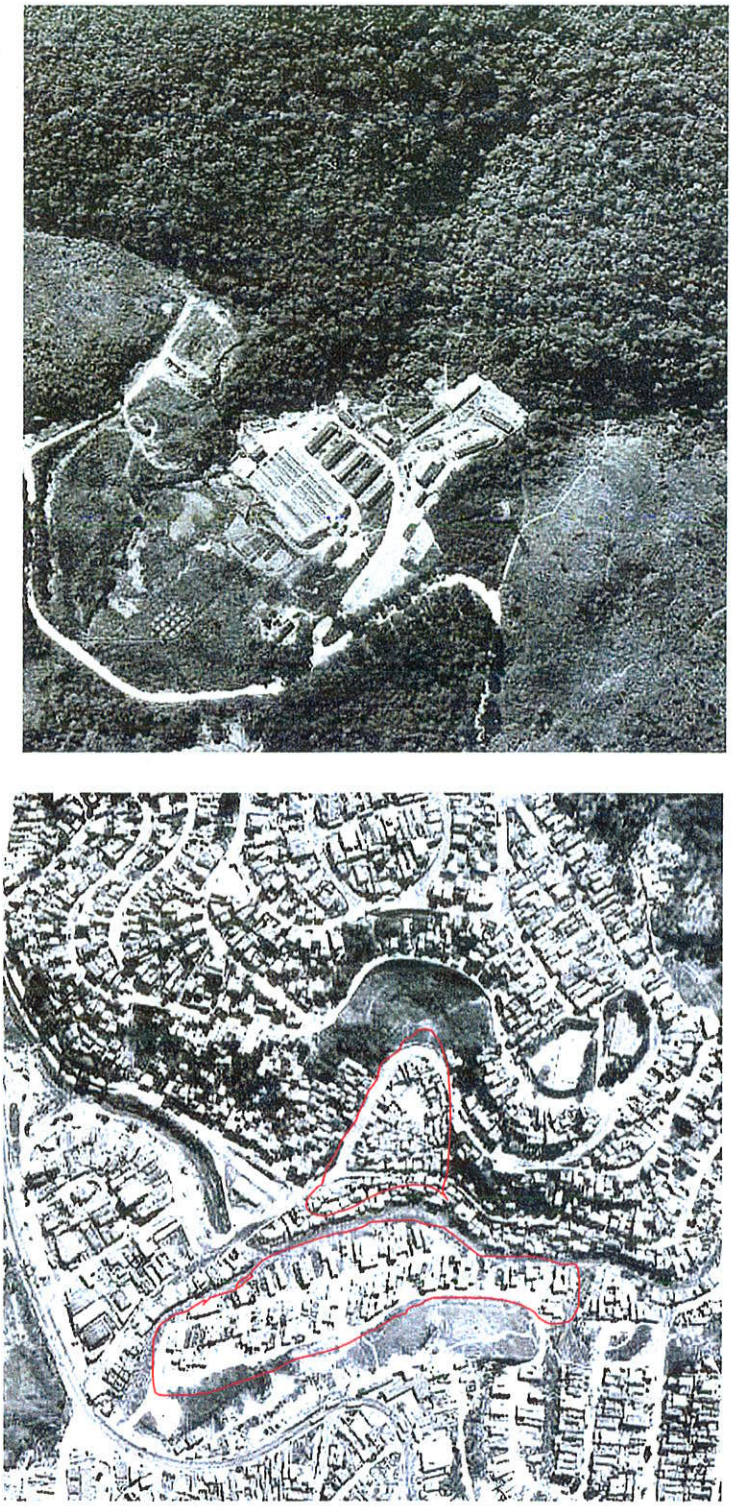

FIGURA 08 - Fotos aéreas da área do Aterro do Jd. Damasceno. Acima foto de 1967 mostrando o vale que foi aterrado com intensa cobertura vegetal e a planície em frente com uso rural. Abaixo foto de 1997, onde as linhas vermelhas indicam a favela sobre o antigo vale e o loteamento clandestino na planície aluvionar (Fontes: acervos de SVP e SVMA).

área livre a montante da favela (foto 02). A correção foi possível com outros documentos obtidos.

Consultando o processo administrativo sobre o loteamento clandestino (Proc. n.º 1995-0.009.338-3 da PMSP) verificou-se que o proprietário dessa área já havia feito pedido de aprovação de loteamento em 1986. Neste pedido foi apresentado parecer técnico da empresa HICSAN (1985), que relata a formação de bolsões de gás em função da cobertura com material argiloso e da mistura do lixo com terra argilosa : "*em algumas perfurações... o escape de gás foi violento, com o característico chiado de saída de gás em alta velocidade*" . Estas sondagens indicaram espessuras de lixo de 3 a 9 m, com nível d'água próximo à superfície. A partir de análises de DBO estimaram em 30% o restante de matéria orgânica a degradar, o que geraria gás ainda por um período superior a 7 anos a partir daquela data, ou seja até 1992. Recomendavam a execução de drenagem vertical e horizontal dos gases e construção das residências sobre um novo aterro com 1 m de espessura e fundações "flutuantes".

O projeto de loteamento foi abandonado por razões econômicas e em 1995, cerca de 10 anos depois, o terreno foi "vendido" a uma associação de moradores que iniciou o loteamento clandestino que encontra-se hoje totalmente ocupado. Em março de 2000 foi realizada matéria pelo Jornal da Tarde, reproduzida na figura 09, onde encontra-se o seguinte relato de um dos moradores : "*já houve pequenas explosões, mas os moradores ficam com medo de contar porque se forem despejados não tem para onde ir*" . Na ocasião desta reportagem o setor de atendimento de emergências da CETESB foi acionado e não verificou concentrações dentro do limite de explosividade nas residências ou nas redes, conforme informação verbal do Engº Químico Edson Haddad. Em vistoria, não foram observadas evidências de recalques significativos que pudessem claramente ser relacionadas com o aterro de resíduos.

Na área de encosta, hoje área municipal ocupada por favela, Menezes (1976) relata que a preparação do aterro foi iniciada cortando-se os barrancos laterais, tornando o terreno plano e acumulando ao mesmo tempo terra para cobertura. Em uma da extremidades do terreno existia uma pequena nascente de água potável que foi canalizada para fora da região a ser aterrada. Foi a seguir executado um dreno central de pedra britada de seção quadrada de 60cm de lado. Durante a vistoria tentou-se localizar, sem êxito, a saída destes drenos ou surgências de percolado, entretanto em

Bairro da Zona Norte pode explodir, adverte ONG

Jardim Boa Vista, um loteamento clandestino erguido sobre lixão aterrado, tem acúmulo de metano no subsolo de 81 dos seus 227 lotes. E pode ir pelos ares a qualquer momento

O Jardim Boa Vista, um loteamento clandestino no extremo norte da cidade, corre o risco de explodir. "O local pode ir pelos ares a qualquer momento, o acúmulo de gás metano por causa do lixo é insustentável", afirmou o ambientalista da Organização Não-Governamental (ONG) Ajude São Paulo, Edson Domingues. Cerca de 81 dos 227 lotes do bairro estão assentados sobre um antigo lixão aterrado. Os moradores dizem que quando compraram os lotes, em 1995, não sabiam das irregularidades nem do lixão. A situação ta. "Só um rapaz queimou o braço quando fazia uma obra, teve de cavar um buraco, acendeu um cigarro e aí fez uma explosão", lembra.

Para o agente voluntário de saúde Joaquim Lopes da Silva, o gás pode causar intoxicação, mas como o solo está compactado não se acumula na superfície facilmente. "Já houve pequenas explosões, mas os moradores ficam com medo de contar porque se forem despejados não têm para onde ir."

A área crítica, com 81 lotes em cima do lixão, foi vendida em maio de 1995. Nessa época a Secretaria Municipal de Habitação (Sehab) notificou os loteadores, que tentaram aprovar o projeto na Prefeitura quatro vezes.

Olaria

Caseiro do primeiro proprietário do terreno, Sebastião Ribeiro da Costa, de 68 anos, mora no local há 31 anos e conta que a área de onde era tirada argila para a olaria que existia no lo-

PERIGO: segundo ambientalistas, o loteamento clandestino pode explodir pelo acúmulo de gás metano decorrente do antigo lixã

FIGURA 09 - Reprodução de reportagem do Jornal da Tarde de 22/03/2000 sobre o loteamento clandestino.

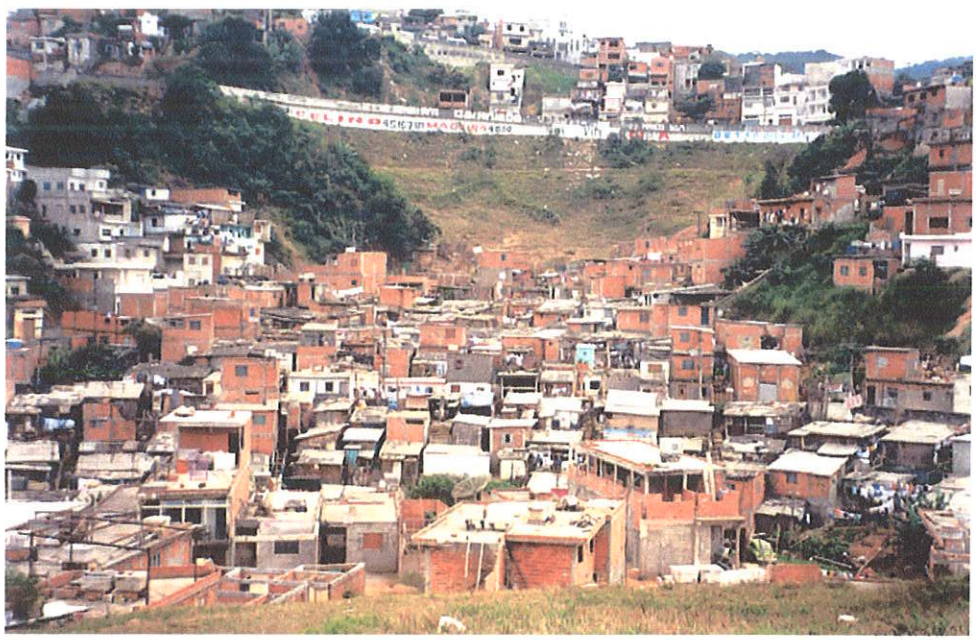

FOTO 02 - Vista geral do vale aterrado ocupado por favela, área livre a montante e parte do loteamento no primeiro plano.

vários locais da favela há vazamentos de águas servidas e esgotos que se confundem com eventuais surgências . A planta reproduzida na figura 10, da época da implantação do aterro, mostra estes elementos e indica uma área à frente como "local previsto para futuro aterro".

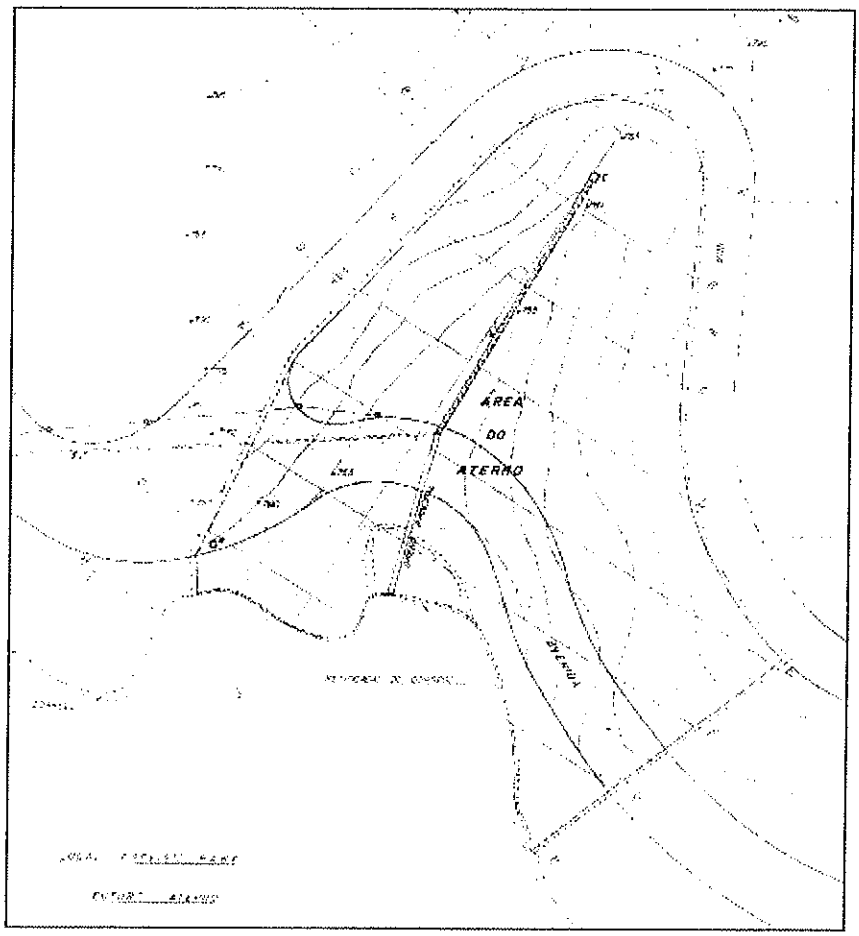

FIGURA 10 - Reprodução da planta da época de implantação do aterro sobre o vale, indicando local previsto para futuro aterro do outro lado do córrego, onde foi implantado o loteamento.

Os moradores entrevistados sabem da existência dos resíduos, mas não indicam nenhum problema associado aos mesmos, provavelmente por medo de despejo. Relatam que alguns anos atrás as crianças brincavam colocando fogo nos pontos de escape de gases, mas que hoje não notam mais sua existência.

Em campo verificou-se várias evidências da instabilidade geotécnica do aterro. Toda a parte superior onde passa a rua Feliciano Malabia apresenta sinais de instabilidade. A encosta livre apresenta degraus de abatimento próximo à base e o muro de contenção está retorcido, quase tombado. A rua apresenta trincas no pavimento exatamente onde deve ser o limite do aterro e as guias e sarjetas estão completamente deformadas (foto 03). Nessa região, uma das residências construídas sobre o aterro apresenta um problema peculiar : com dois pavimentos em alvenaria a mesma está recalcando e para que o morador possa abrir o portão da garagem, a calçada tem que ser continuamente quebrada, segundo informações do mesmo (foto 04).

Problemas mais graves ocorrem na parte frontal do aterro, que forma um talude até o córrego (foto 05), onde verificou-se evidências de destruição de moradia muito provavelmente por movimentações do terreno (foto 06). Nessa região não se verificou evidências de instabilizações de grande porte. A quase totalidade das casas são de alvenaria e boa parte não está trincada, indicando que as movimentações já não são muito elevadas e são suportadas por estruturas mais reforçadas, mas ainda assim configurando uma situação de risco geotécnico.

O aterro encontra-se tipicamente em uma área de descarga, parte sobre a planície aluvionar e parte no pé da encosta sobre antigo vale, o que associado a suas pequenas dimensões não conferem maior gravidade à poluição das águas subterrâneas, visto que a região é servida por rede de abastecimento de água. Entretanto, o vale que separa as duas partes do aterro constitui contato tectônico entre micaxistos ao norte e granitos ao sul, o que pode significar que uma parcela da contaminação pode migrar pelas estruturas dos micaxistos a partir da encosta e atingir águas mais profundas que fluem pela zona de falha.

7.4 - Aterro Vila São Francisco

Segundo Mendonça (1979) este aterro, cuja localização encontra-se na figura 11, foi considerado um "custo social", pois foi realizado atendendo-se aos insistentes pedidos dos moradores, preocupados com a existência de uma lagoa no local,

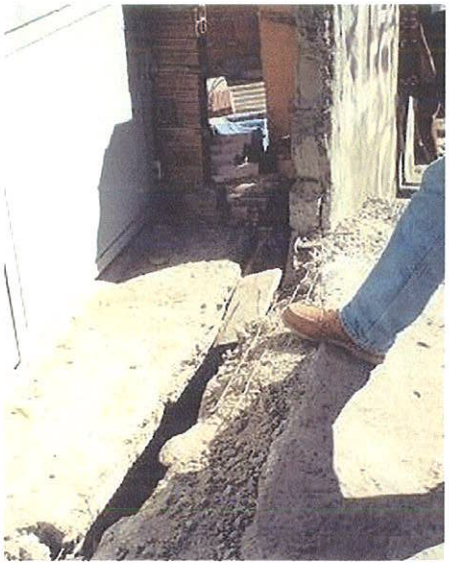

FOTO 03 -. À esquerda, evidências de instabilização na Rua Feliciano Malabia : muro de contenção retorcido e pavimento e guias deformados.
FOTO 04 - À direita, calçada que precisa ser continuamente quebrada para abertura do portão devido os recalques.

FOTO 05 - À esquerda, moradia implantada no talude próximo ao córrego, onde muitos sacos plásticos evidenciam os resíduos enterrados.
FOTO 06 - À direita, escombros de moradia destruída, que está sendo reconstruída

responsável pelo afogamento de diversas crianças do bairro. Em 37 dias, entre junho e julho de 1976, foram enterradas 51.000 t de resíduos.

Realmente na foto aérea de 1967 (figura 12) observa-se a pequena lagoa posteriormente aterrada. Não existem informações de que o aterro tenha sido ampliado além desses limites, assim como não há informações sobre a origem da lagoa e sua profundidade. Atualmente a área encontra-se livre e é de propriedade do Instituto de Previdência do Estado de São Paulo, que a reserva para futuros conjuntos habitacionais. Não foram observados problemas relativos ao antigo aterro de resíduos domésticos. Entretanto, o local tem sido utilizado como depósito clandestino de resíduos predominantemente inertes (terra e entulhos) que devido à sua elevada altura configura uma situação de risco por escorregamentos para a favela limítrofe (foto 07). Em certo trecho há descarga de resíduos domiciliares onde encontrou-se crianças à procura de brinquedos (foto 08). Esta área exemplifica como os problemas atuais com resíduos ainda são graves e obscurecem os quase invisíveis problemas com os aterros antigos.

Quanto à poluição das águas subterrâneas a área encontra-se contígua a um pequeno córrego afluente do córrego Itaquera em uma planície aluvionar bastante restrita, portanto em área de descarga. Não se identificou a existência de poços próximos. A contaminação deve ser agravada pela influência do depósito recente de resíduos que, como se observou, não são apenas inertes. Segundo a Carta Geotécnica de São Paulo (SEMPLA,1993), os sedimentos aluvionares assentam sobre sedimentos Terciários da Bacia de São Paulo.

7.5 - Aterro Carandiru

Assim como o aterro de Vila São Francisco, o do Carandiru também foi considerado um "custo social" (Mendonça,1979). Foi iniciado em janeiro de 77 e terminado em março. Em 72 dias enterraram-se cerca de 23.000 t de resíduos, praticamente dois dias da coleta atual da cidade. A peculiaridade maior desse aterro é que foi implantado dentro das muralhas do Presídio Feminino, que necessitava recuperar a área para utilização futura.

Figura 11. Localização da antiga área de disposição de resíduos
ATERRO DE VILA SÃO FRANCISCO
(sobre base digital - GEOLOG/PRODAM)

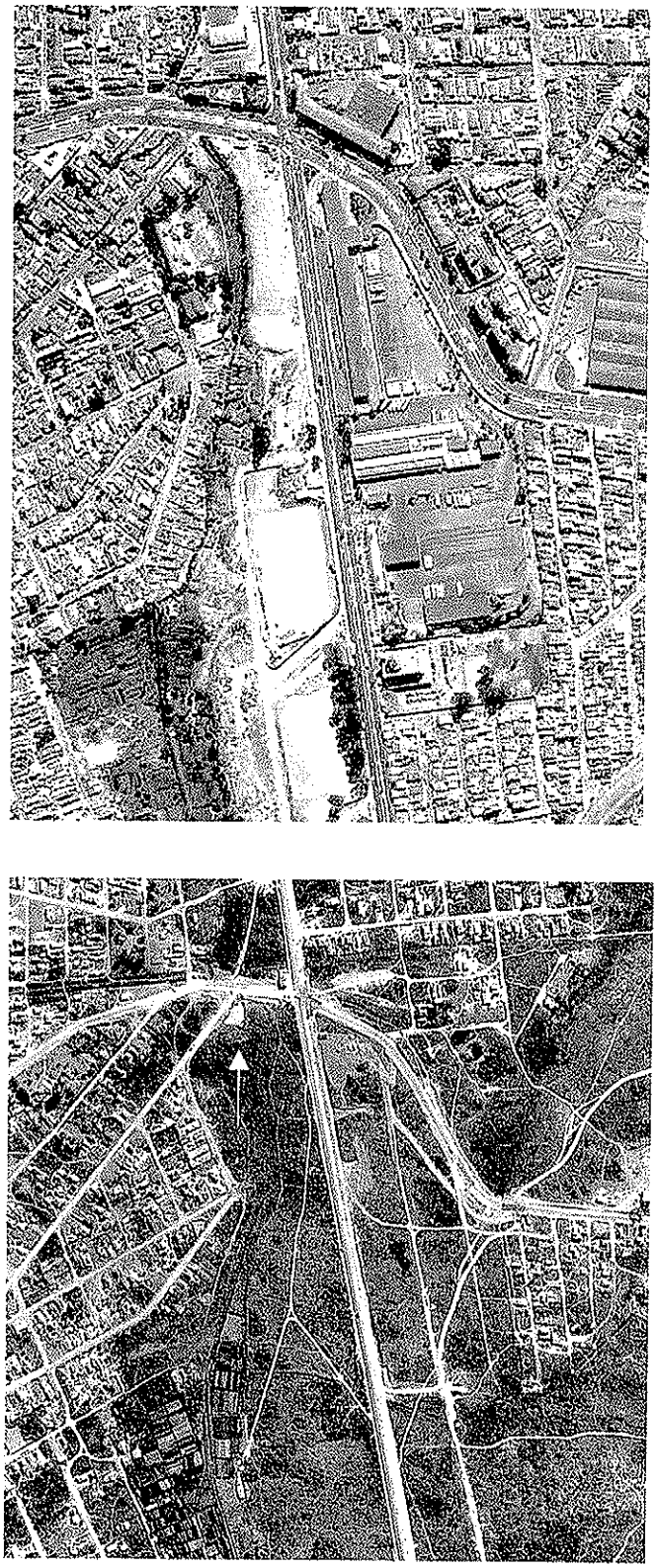

FIGURA 12 - Fotos aéreas da região do Aterro Vila São Francisco. Abaixo foto aérea de 1967 mostrando o pequeno lago que foi aterrado (indicado pela seta). Acima foto de 1997 mostrando a gleba ainda vazia e utilizada como aterro de "bota-fora" (Fontes: acervos de SVP e SVMA)

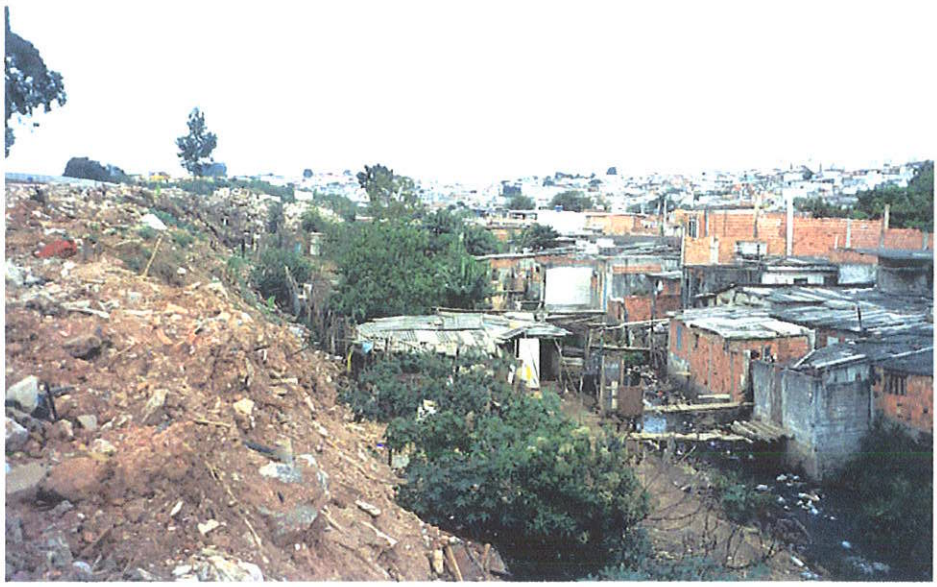

FOTO 07 - Depósito recente de resíduos predominantemente inertes, junto ao córrego, configurando situação de risco às moradias, por escorregamento.

FOTO 08 - Crianças brincando no mesmo depósito da foto anterior, em trecho com resíduos domésticos.

Aquela região foi utilizada como lixão por muitos anos e a área de ocorrência de resíduos domésticos é muito maior. A análise histórica de fotografias aéreas mostra uma evolução interessante. Na foto de 1940 (figura 13) pode-se observar várias cavas de mineração de areia e o rio Tietê não retificado. Já existiam várias ruas residenciais entre as minerações que em alguns pontos apresentam sinais de atividade. Em 1954 o Tietê está sendo retificado e as cavas de mineração continuam praticamente as mesmas, ocorrendo um aumento significativo das residências no bairro de Vila Guilherme. O final da década de 60 e início de 70 correspondem ao período principal de utilização da área como lixão. Na foto de 1967 verificou-se um ponto isolado, claramente identificado como de disposição de lixo. É na foto de 1973 (figura 14) que, aparentemente o lixão encontra-se em seu ápice, podendo-se observar sua grande extensão. A fotointerpretação com estereoscopia é inequívoca, visto que o depósito de lixo apresenta textura granular e vários tons de cinza em contraposição a depósitos de terra com textura lisa e tons de cinza mais claros e homogêneos, podendo-se observar inclusive vários caminhões. Os trechos com superfície de terra provavelmente representam resíduos já recobertos. Pode-se dizer que quase todas as antigas cavas foram aterradas, pelo menos em parte, com resíduos diversos, com razoável quantidade de resíduos industriais, visto a quantidade de indústrias que estão ao longo das avenidas marginais.

A foto de 1994 (figura 13) mostra a ocupação muito próxima à atual. A grande maioria das áreas das antigas cavas de mineração hoje estão ocupadas por galpões industriais e comerciais, chamando atenção a presença de três grandes *shoppings centers*. Em porções menores e isoladas há uso residencial. A figura 15 localiza a região que estava sendo aterrada em 1973, que apresenta o maior grau de certeza de ocorrência de resíduos.

Ao longo de toda a calçada de um dos *shoppings*, na Av. Otto Baumgart há saídas de drenos verticais espaçadas cerca de 20 m (fotos 09 e 10). A administração do *shopping,* verbalmente afirmou desconhecer os motivos dos tubos, embora soubesse da existência dos antigos lixões, e não forneceu nenhuma informação relevante. Também não foram encontradas informações na CETESB ou LIMPURB.

Segundo informações verbais de engenheiros de LIMPURB a profundidade média das cavas era de 6 m. Sabe-se que minerações desse tipo podem atingir

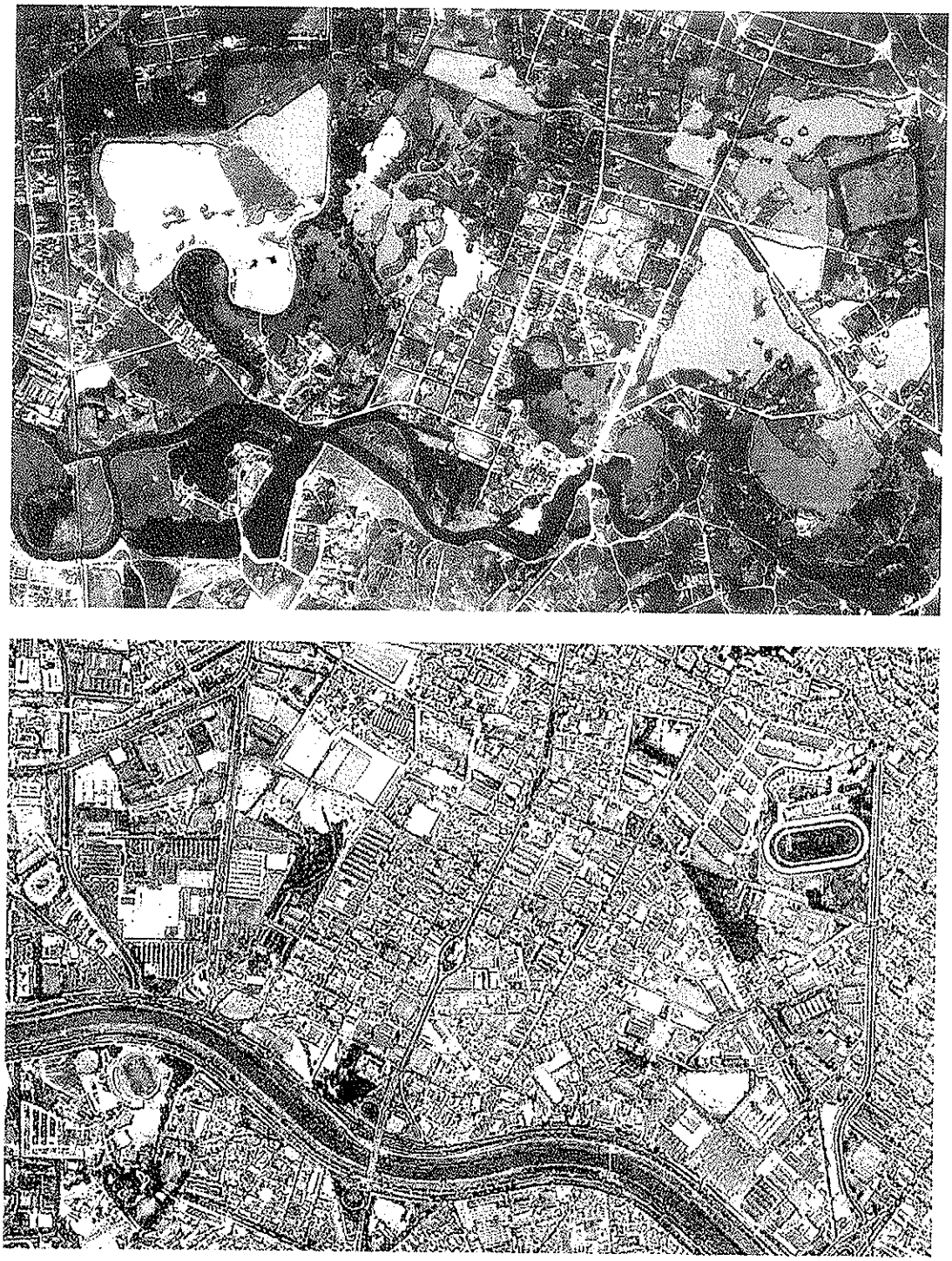

FIGURA 13 - Fotos aéreas da região do Carandiru. Acima foto de 1940 com as diversas cavas de mineração de areia. Abaixo foto de 1994 com a ocupação muito próxima da atual (Fontes: acervos de SVP e SVMA).

FIGURA 14 - Montagem de fotos aéreas de 1973, mostrando as principais áreas de lixão na região do Carandiru (Fonte: acervo SVP).

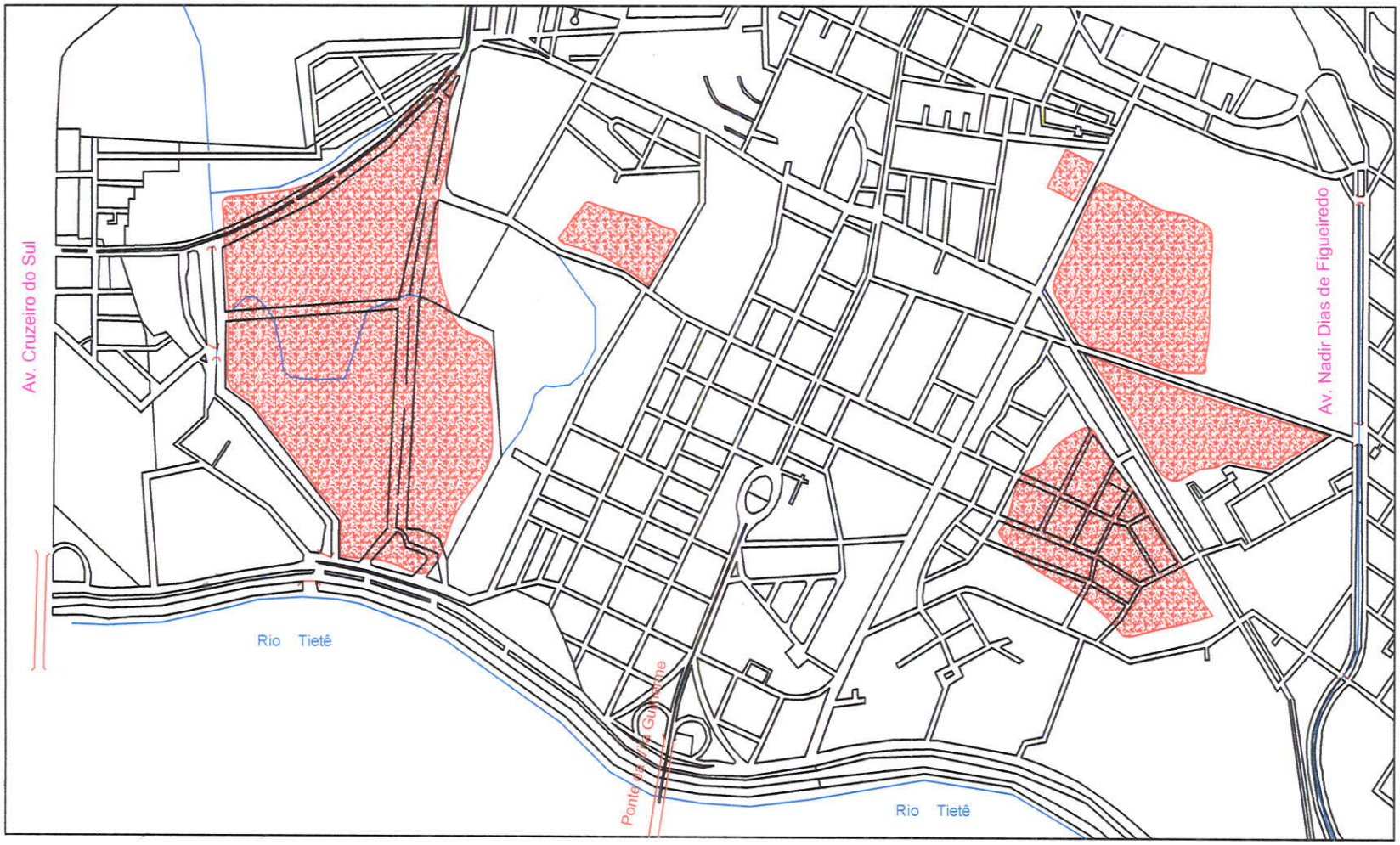

Figura 15. Localização das áreas de disposição de resíduos na região do CARANDIRU, conforme foto de 1973. (sobre base digital - GEOLOG/PRODAM)

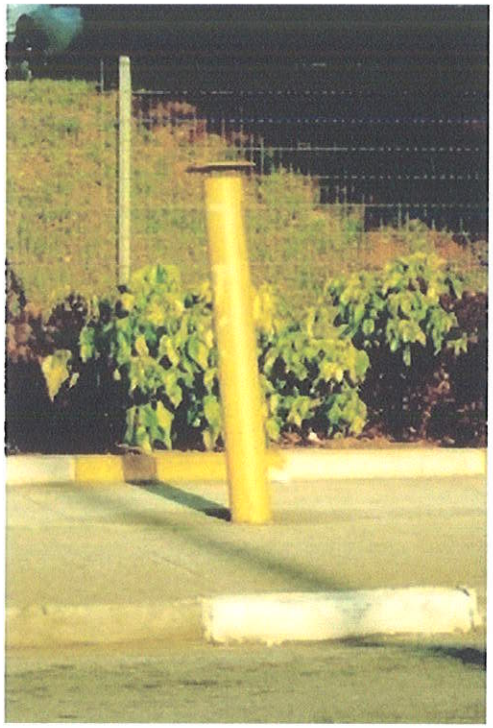

FOTO 09 - Detalhe do dreno de gás .

FOTO 10 - Drenos alinhados na calçada ao lado do *shopping*.

profundidades maiores e é de se esperar espessuras muito variáveis de resíduos. Toda a área encontra-se em sedimentos aluvionares do rio Tietê, em área de descarga de águas subterrâneas.

7.6 - Aterro Pedreira Cit

Como o próprio nome indica este aterro foi implantado na zona oeste, em antiga pedreira. Foram dispostas 563.000 toneladas no período de fevereiro de 1977 a janeiro de 1978. A figura 16 mostra sua localização. A foto aérea de 1973 (figura 17) mostra a mineração já paralisada com a cava tomada por água. Este aterro foi objeto de projeto, que era bastante simplificado, apenas descrevendo os conceitos de implantação, mas apresentava os principais elementos geométricos. O texto do projeto chamava a atenção para a boa localização distante de núcleos residenciais, com acessos pavimentados e próxima de grande número de indústrias atendendo às "descargas particulares". Relata ainda que a área era particular e foi arrendada pela prefeitura. O aterro desenvolveu-se até a borda superior da cava, formando taludes e alcançando uma espessura máxima de resíduos de 50 metros. O volume medido na ocasião foi de 356.791 m^3.

A área hoje encontra-se livre (fotos 11 e 12), sendo preparada para receber um loteamento de prédios, conforme informações de trabalhadores do local, mas ainda não submetido à prefeitura. Entretanto há residências a menos de 100 m. Não existem evidências da ocorrência do depósito de resíduos e não se observam seus efeitos pela falta de estruturas construídas. Toda a gleba, formada por uma área bem maior que a da antiga pedreira, foi utilizada até recentemente como aterro do tipo "bota-fora", com disposição predominante de resíduos inertes, formando extensos platôs como pode-se observar na foto aérea de 1997 (figura 17) e, provavelmente a área do antigo aterro sanitário foi também recoberta. Além disso os taludes foram recentemente regularizados e estão recebendo plantio de grama.

A pedreira explorava um gnaisse, conforme a Carta Geotécnica do Município (SEMPLA,1993) e confirmado no único afloramento em uma de suas bordas (foto 13), com bandamento e foliação principal orientados aproximadamente leste-oeste. É contígua à planície aluvionar do córrego Pirajussara, encontrando-se a cerca de 150 m

Figura 16. Localização da área de disposição de resíduos
ATERRO PEDREIRA CIT

(sobre base digital - GEOLOG/PRODAM)

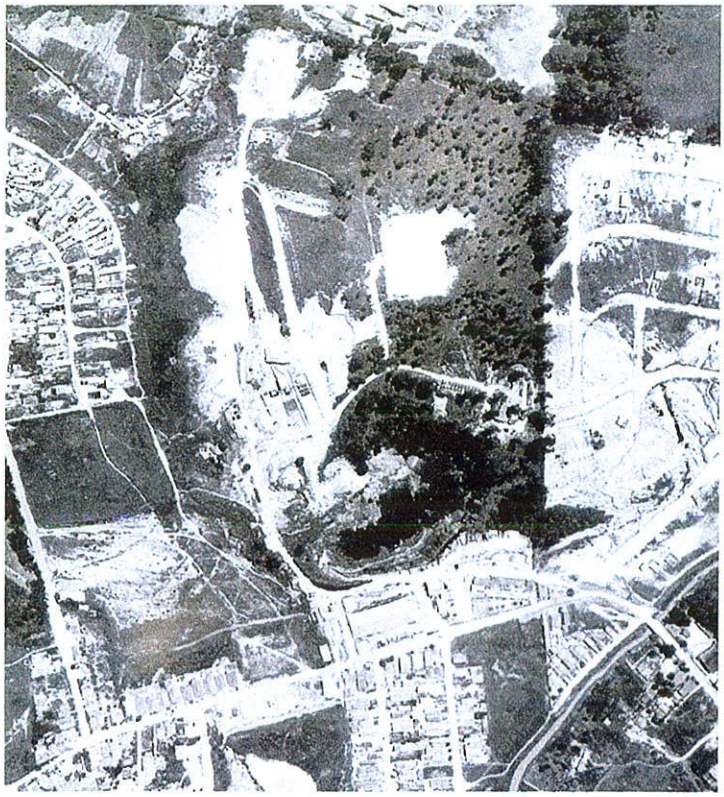

FIGURA 17 - Fotos aéreas da região da Pedreira Cit. Acima foto de 1973, mostrando a cava com água. Abaixo foto de 1997, observando-se os platôs formados pelo aterro de "bota-fora" (Fontes: acervos de SVP e SVMA).

FOTO 11 - Vista dos taludes na área do antigo aterro.

FOTO 12 - Vista da área desocupada.

FOTO 13 - Afloramento do gnaisse, única evidência da antiga pedreira.

deste, portanto em área de descarga de águas subterrâneas. A contaminação de águas mais profundas a partir da base da antiga cava, que encontra-se a cerca de 25 m do nível da planície do córrego, não pode ser descartada.

7.7 - Aterro Engenheiro Goulart

Foi implantado na zona leste aproveitando-se uma das antigas cavas de mineração de areia, a qual ocupava grande extensão da várzea do rio Tietê, como pode-se observar na figura 18. Nas fotos aéreas analisadas, dos anos de 1940, 1954, 1967 e 1973, o auge da mineração teria ocorrido até a década de 50, permanecendo a área pouco alterada depois desta época até a execução da barragem da Penha e alargamento do canal no final da década de 70. Não ocorreu um aterramento em grande escala, como a área similar do Carandiru.

A lagoa utilizada para o aterro sanitário teve que ser esgotada e Menezes (1976) descreve alguns aspectos interessantes da operação :

> *"drenos de pedra britada ... foram construídos, facilitando o escoamento da água retida no lôdo para um poço de recepção ..., onde uma bomba de sucção recalcava para uma lagoa lateral. Desta maneira foi possível manter razoavelmente seco o local, apesar da ponderável infiltração de água através da barragem de terra de separação da lagoa próxima. Paralelamente, uma segunda lagoa começou a ser preparada para aterro. Como a experiência anterior mostrou dificuldades em se operar uma área muito grande, devido ao tempo para esgotamento da água e maior área de recepção de águas pluviais, foi esta lagoa seccionada por meio de uma barragem de terra, ficando com uma superfície de cerca de 10.000 metros quadrados".*

Estas observações indicam a grande dificuldade que deveria ser a operação do aterro nas épocas de chuva. O aterro sanitário começou a funcionar em abril de 1975 e terminou em janeiro de 1979, tendo sido depositadas 1.764.000 toneladas de resíduos. Sua localização é apresentada na figura 19. No relatório de LIMPURB (1995) a localização estava errada, e só foi corrigida com a obtenção de relatório da CETESB

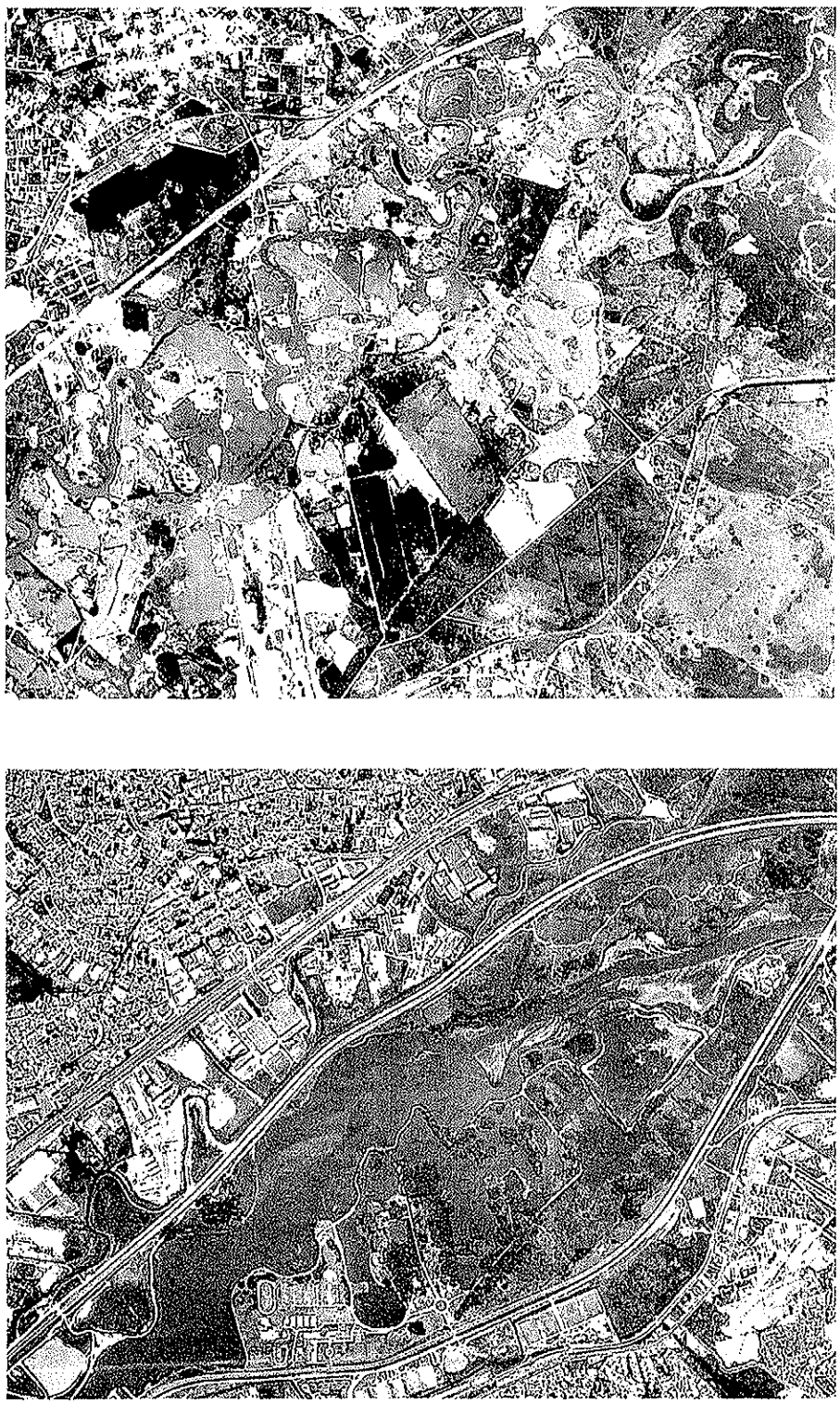

FIGURA 18 - Fotos aéreas da região do aterro de Engº Goulart. Acima foto de 1954 mostrando grande número de cavas de mineração. Abaixo foto de 1994 com o lago formado pela barragem da Penha e o Pq. Ecológico do Tietê entre as duas pistas da Rodovia dos Trabalhadores. O local do aterro sanitário está indicado pela linha vermelha (Fontes: acervos de SVP e SVMA).

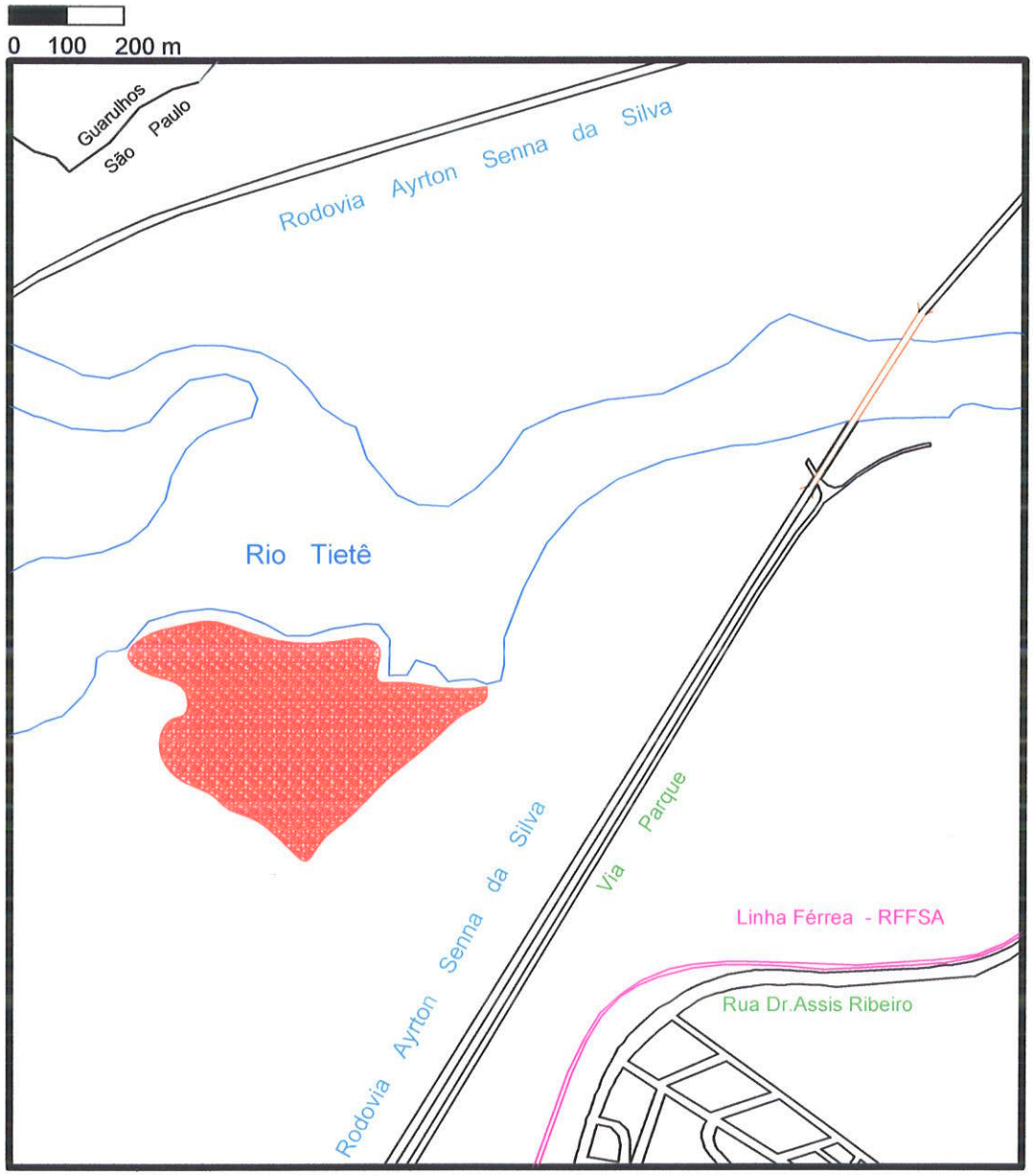

Figura 19. Localização da área de disposição de resíduos
ATERRO DE ENGENHEIRO GOULART
(sobre base digital - GEOLOG/PRODAM)

(1977) sobre estudo da tratabilidade do chorume em lagoas de estabilização facultativas que apresentava foto aérea e o mapa reproduzido na figura 20. O chorume era bombeado da lagoa que estava recebendo lixo para outra ao lado, onde foram feitas as análises de qualidade que mostraram eficiência acima de 95% na redução de DBO, sendo o método recomendado para os outros aterros da época.

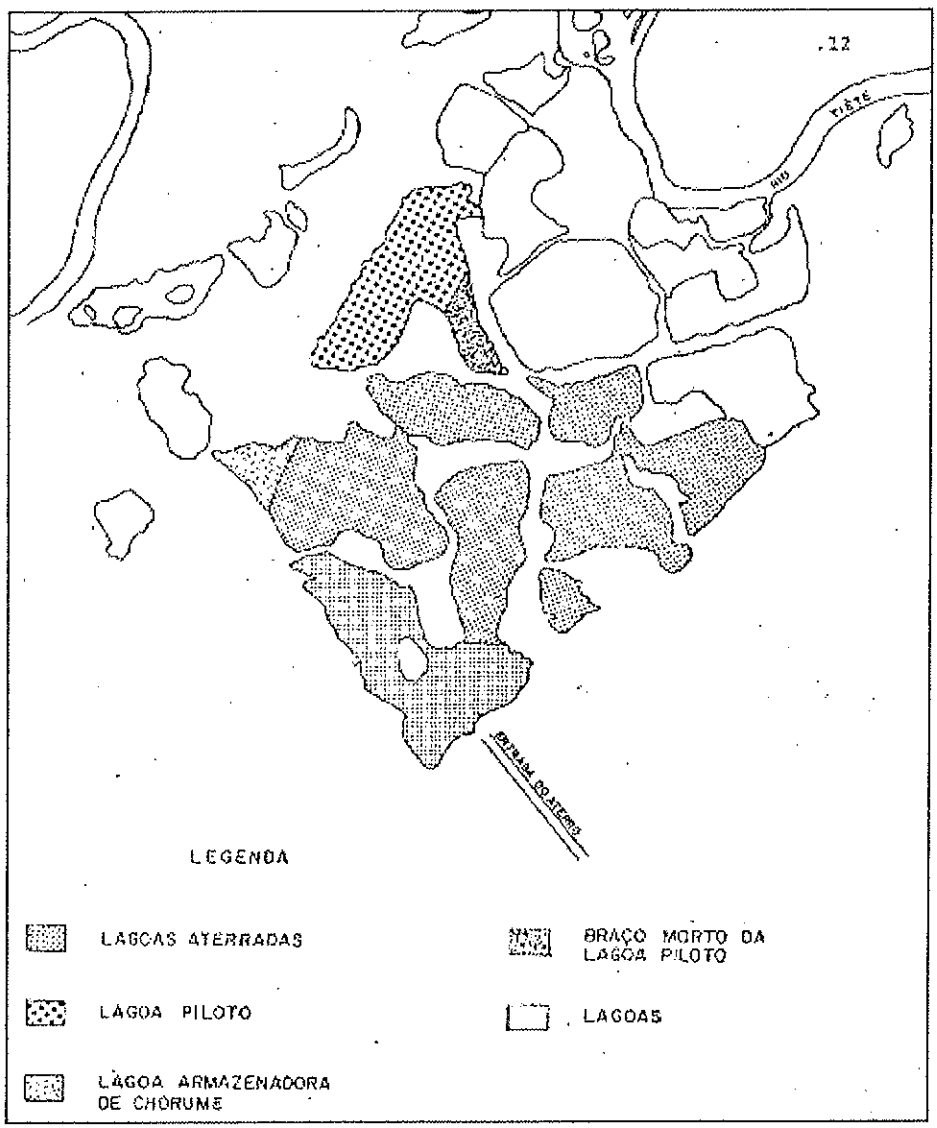

FIGURA 20 - Mapa mostrando as cavas aterradas e as lagoas utilizadas no estudo para tratamento do chorume (Fonte: CETESB, 1977)

Atualmente a área encontra-se dentro do Parque Ecológico do Alto Tietê, que é subdividido em vários núcleos, um deles o de Engº Goulart, administrado pelo Depto. de Águas e Energia Elétrica (DAEE). A área do aterro (sem o conhecimento da existência dos resíduos, segundo o DAEE) foi utilizada como "bota-fora" do material de desassoreamento do Tietê, com aprovação da Secretaria de Meio Ambiente Estadual. No projeto do parque, ainda não totalmente implantado, o local é previsto como de arborização intensa (DAEE,1997). A foto aérea de 1994 (figura 18) mostra a região como está hoje e a localização da área do aterro no contexto do parque ecológico, basicamente compreendido entre as duas pistas da Rodovia dos Trabalhadores.

A operação como "bota-fora" criou um patamar elevado em relação à superfície original da planície (foto 14) e foi paralisada por ação da Promotoria de Meio Ambiente, iniciada em 1994. Preocupada com a possível obstrução da saída de gases e risco de explosão, além de outros problemas técnico-econômicos dos "bota-foras". A população e ambientalistas relatavam a existência de incêndios expontâneos e barulhos de explosão, segundo informações verbais da Engª Maria Aparecida T. Amorim do DAEE.

Devido àquela ação foi realizado um monitoramento das emissões do aterro, por dois anos, de abril de 1997 a abril de 1999, cujos dados constam do processo administrativo do DAEE, de nº 45.249/96 e compilados em relatório final da empresa BUREAU de Projetos e Consultoria Ltda. (1999), que mostrou resultados preocupantes, os quais foram resumidos a seguir.

Foram realizadas medidas de composição e pressão dos gases no aterro através de nove drenos verticais (foto 15), em um total de 27 análises para cada dreno, com freqüência bimestral; bem como 4 análises químicas do líquido no interior de cada dreno. As medidas da concentração volumétrica dos gases foram feitas com medidores portáteis em relação ao "Limite Inferior de Explosividade", inserindo-se a mangueira 0,5 e 1,5 m abaixo do topo do dreno, com estes fechados e abertos. As leituras de pressão foram feitas com manômetros analógicos e de coluna inclinada. As perfurações indicaram espessura média de lixo doméstico de 3 m, com volume medido aproximadamente de 534.360 m^3.

A composição e a pressão dos gases indicaram três regiões distintas: uma bastante ativa com as concentrações de metano acima do fundo de escala do medidor

FOTO 14 - Vista parcial do patamar do aterro elevado em relação à planície. Observam-se os diques na borda utilizados para disposição do material dragado do Tietê.

FOTO 15 - Detalhe de um dos drenos utilizados no monitoramento

e oxigênio baixo, indicando fase metanogênica; outra com pouca geração de gases (pela leitura das pressões), mas ainda altas concentrações de CH_4 e CO_2 e alguns drenos mostrando que O_2 estava se elevando. A terceira região apresentava alternância de condições aeróbias e anaeróbias, com concentrações mais baixas de CH_4 e CO_2 . Quanto às análises químicas a relação DBO/DQO era baixa, entre 0,05 e 0,2, mostrando que o material de decomposição rápida já estava esgotado. Alguns íons apresentavam concentrações abaixo das consideradas típicas, pelos autores do relatório, tanto para aterros novos como antigos, sendo relacionadas à infiltração de águas de chuva e lixiviação dos resíduos pelos mesmos, que não consideraram o fluxo das águas subterrâneas como outra possível explicação.

O relatório apresenta ainda os seguintes comentários (BUREAU,1999):

- O aterro com mais de 20 anos deveria estar inerte e a baixa concentração de metais descarta aparentemente este efeito inibidor;
- A alternância de condições em relação aos gases indica a entrada de gases da atmosfera no aterro, prejudicando a sua maturação;
- A variação nas leituras de pressão interna indica que ocorrem grandes variações na produção de metano e que o aterro experimentou vários graus de risco de explosividade durante o período de monitoração;

Por fim, recomendam a estanqueidade do aterro (sem dizer como) para preservar o ambiente anaeróbio e dificultar a contaminação das águas subterrâneas e seguir com a monitoração. A utilização como "bota-fora" continua suspensa e o DAEE ainda não havia obtido recursos, até meados de 2000, para continuar a monitoração e também não havia decidido sobre outras medidas a adotar.

Estes dados são preocupantes por mostrar que um aterro de resíduos com apenas 3 m de espessura ainda apresenta geração de gases em níveis elevados após 20 anos de seu encerramento. Outras hipóteses devem ser consideradas como efeito inibidor além das listadas no relatório: a presença de outros resíduos tóxicos inibidores que não apresentem metais, por exemplo como compostos orgânicos; e o fato dos resíduos (se não totalmente, a maior parte) estarem sob o nível d'água, em área de descarga, com elevado fluxo lateral, o que pode dificultar a ação dos microorganismos.

A área do aterro encontra-se afastada do centro de lazer do parque, embora ao lado exista estrada de terra utilizada pelo público. O aterro é coberto por gramíneas e vegetação arbustiva e não são observadas evidências do depósito de resíduos. Alguns funcionários do parque relataram que ocorrem incêndios, especificamente nesta área, com razoável freqüência em épocas secas, os quais associam diretamente à presença do gás. Durante a vistoria observou-se que parte da vegetação sobre o platô do antigo aterro encontrava-se queimada. Entretanto outra hipótese para esta incidência maior de incêndios é que o patamar elevado torna o terreno mais seco que o redor e a vegetação é de menor porte.

7.8 - Aterro Raposo Tavares

Esta área, localizada na zona oeste, foi utilizada como lixão por muitos anos antes de ter sido iniciada a disposição como aterro sanitário. Na foto aérea de 1967 aparece o início da disposição de resíduos e na foto de 1973 a área atingida já é grande (figura 21), verificando-se a presença de fumaça relativa aos constantes incêndios que ocorriam. A operação como aterro sanitário iniciou-se por pressão da população e, como já descrito anteriormente, foram destinados milhares de metros cúbicos de terra para apagar o fogo, que tomava conta de quase a totalidade da área do aterro. Nesta ocasião foi desenvolvido projeto que, assim como os outros, apresentava os conceitos da forma de implantação e nenhum tipo de investigação. Da mesma forma que no aterro da pedreira Cit que é muito próximo deste local, o projeto ressaltava a proximidade com indústrias como ponto favorável. Sua localização encontra-se na figura 22.

Como aterro sanitário houve disposição de resíduos no período de julho de 1975 a agosto de 1979, de 1.857.000 toneladas. Comparando-se as áreas nas fotos aéreas de 73 e 97, verifica-se que o lixão anterior é bem maior que o restante da área que teria sido operada como aterro sanitário e, portanto, a quantidade real de resíduos deve ser maior que o dobro. A altura máxima do aterro chega a cerca de 50 m (desnível entre o platô superior e sua base) e a espessura de resíduos é bastante variável, visto que os mesmos foram dispostos diretamente sobre o relevo original da área, aterrando duas linhas de drenagem com sentido de caimento opostos e formando um extenso platô no

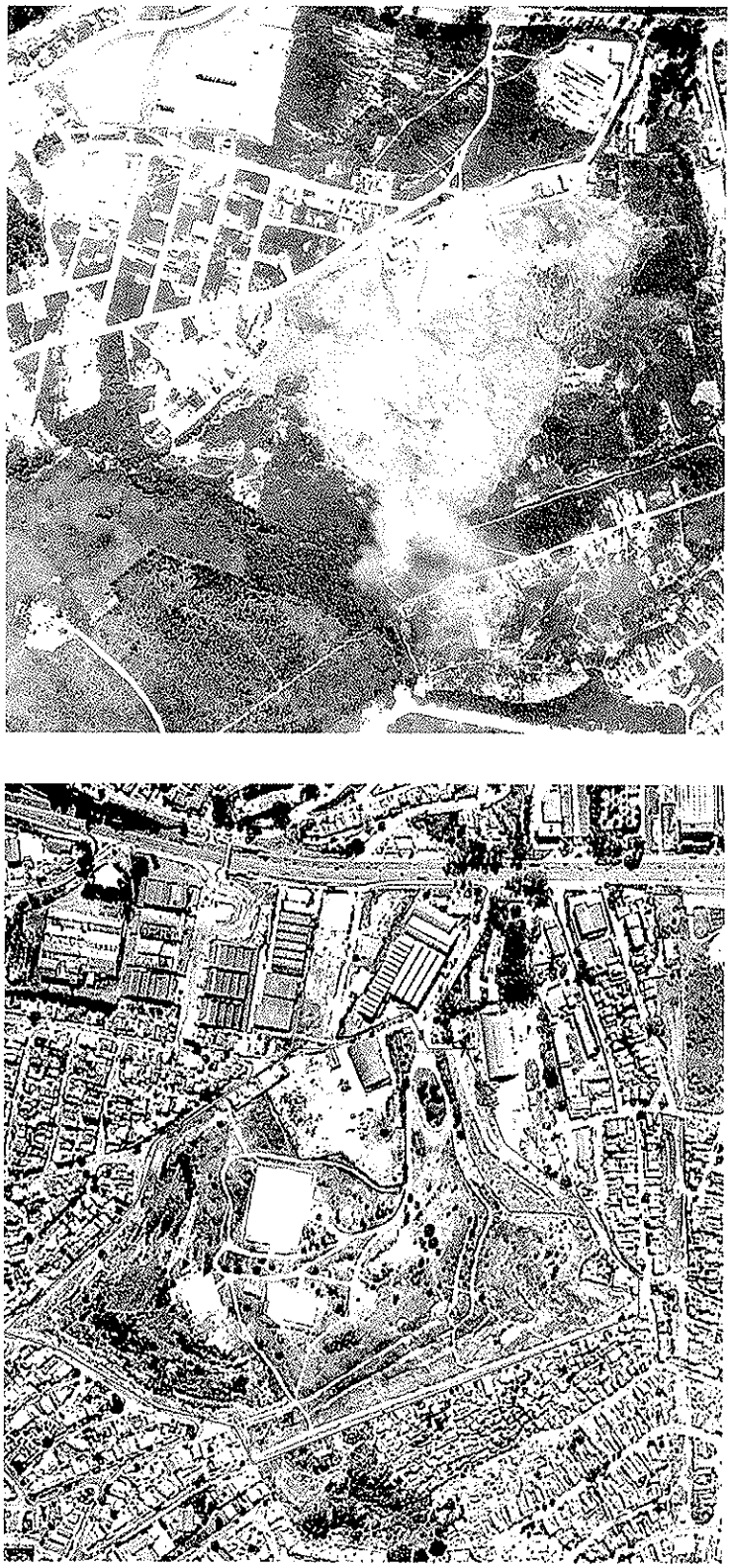

FIGURA 21 - Fotos aéreas do aterro Raposo Tavares. Acima em 1973 como lixão onde observa-se a fumaça dos constantes incêndios; abaixo foto de 1997 com toda a área do aterro, indicada pela linha vermelha, ocupada pelo parque (Fontes: acervos de SVP e SVMA).

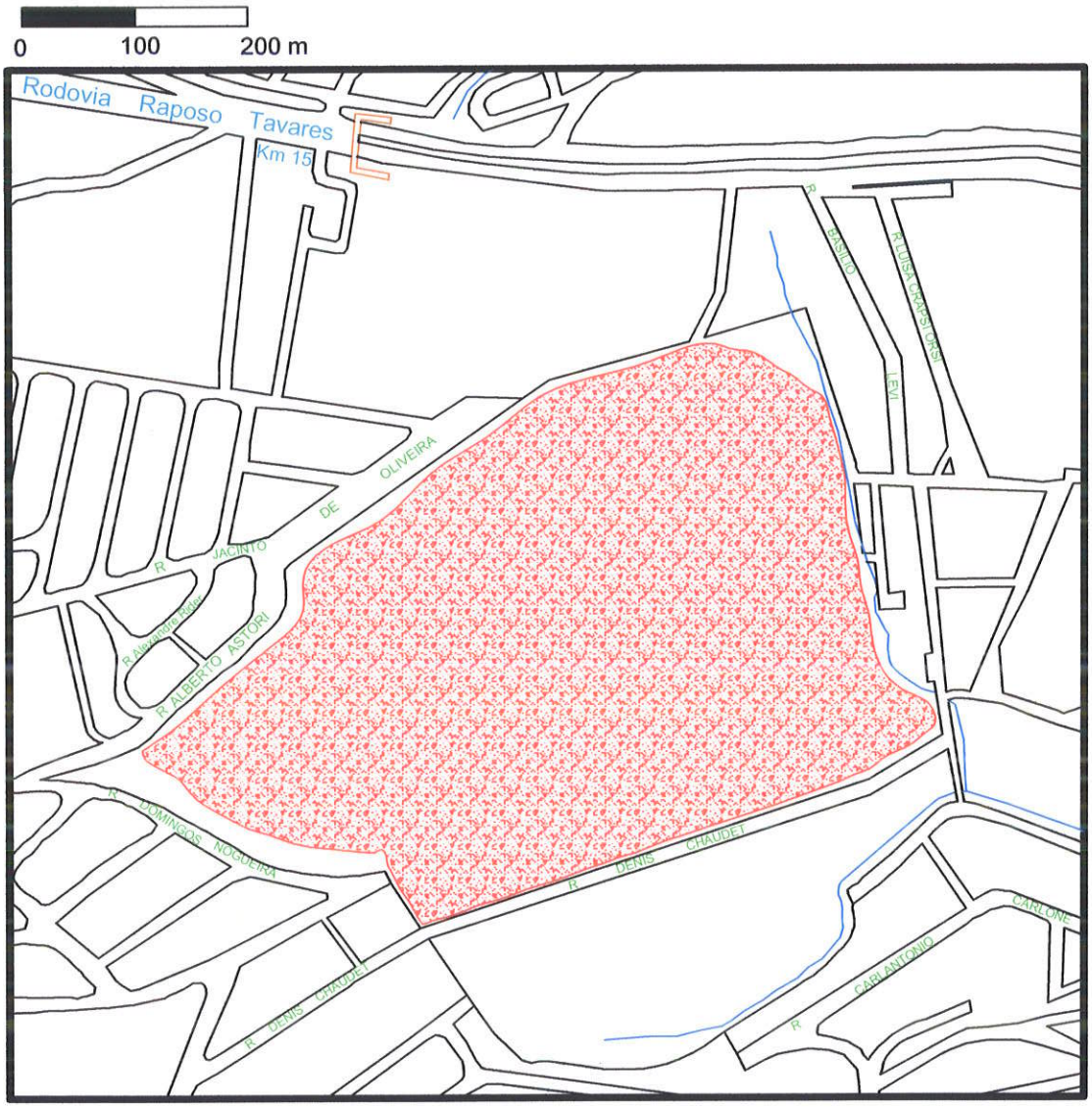

Figura 22. Localização da área de disposição de resíduos
ATERRO RAPOSO TAVARES
(sobre base digital - GEOLOG/PRODAM)

topo da antiga colina. No trecho correspondente ao projeto a espessura média de resíduos é de 25 m ao longo da encosta. A figura 23 reproduz corte esquemático existente no projeto que mostra a adaptação do lixão para o aterro sanitário.

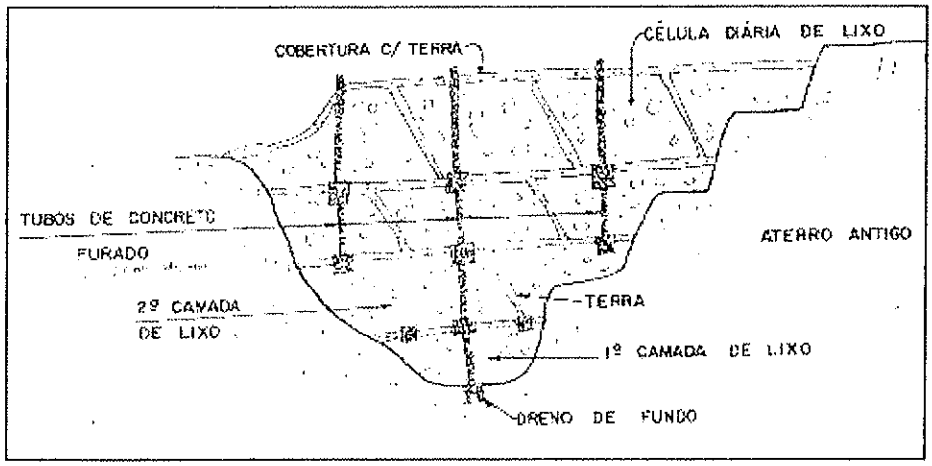

FIGURA 23 - Reprodução de corte esquemático existente no projeto do aterro.

Neste aterro aconteceu a primeira experiência com aproveitamento do biogás, como citado anteriormente, no ano de 1976, ainda durante a operação do aterro. A área originalmente foi desapropriada e hoje é um parque municipal, Parque Raposo Tavares, sendo uma pequena parte ocupada para depósito da Administração Regional do Butantã. Aparentemente não houve nenhum cuidado adicional nessa transformação de uso do solo.

Antigos funcionários do parque nos indicaram pontos de saída dos antigos drenos de gases (tubos metálicos escondidos na vegetação arbustiva), nos quais diziam que era possível acender fogo até alguns anos atrás. Relataram também que devido ao lixo os eucaliptos "pulam" para fora da terra e que são feitos escoramentos na tentativa de "segurá-los". O que ocorre, segundo engenheiros agrônomos consultados, é que a raiz do eucalipto é pivotante, ou seja, tende a ser profunda, e nos resíduos não consegue se desenvolver, enquanto que o caule continua a crescer a partir dos nutrientes obtidos no solo pouco espesso. A certa altura a raiz não consegue sustentá-lo e a árvore começa a tombar. Árvores de menor porte e raízes superficiais

se adaptam bem (foto 16).

De modo geral a parte mais utilizada do parque, representada por seu platô superior, é bem cuidada e arborizada, o mesmo não ocorre nos taludes em sua borda. Observaram-se pequenos escorregamentos e erosões que expunham os resíduos (fotos 17 e 18) e, em pelo menos quatro pontos, na porção inferior do talude, há surgência de percolado. A mais grave ocorre na rua Alberto Astori, onde o líquido de coloração preta, mas sem odor, escoa pela calçada até um bueiro próximo da galeria de águas pluviais (foto 19). Esta situação representa um risco grave, visto que crianças brincando no parque podem ter uma exposição direta aos resíduos, eventualmente industriais, ou ao percolado.

Quanto à poluição das águas subterrâneas, o aterro realizado sobre duas antigas linhas de drenagem está em área de descarga para fluxos locais, entretanto devido sua grande dimensão ocupa extensa área no topo da antiga colina, em área de recarga do aqüífero, podendo afetar águas mais profundas no sistema cristalino, visto que segundo a Carta Geotécnica do Município (SEMPLA,1993) o terreno é formado por Gnaisses.

7.9 - Aterro Pedreira Itapui

Foi iniciado em dezembro de 1978 e encerrado em novembro de 1979, tendo sido depositadas 576.000 toneladas de resíduos no interior da cava da pedreira que explorava o granito Itaquera, sua localização está indicada na figura 24. A lavra, como nos outros casos, se desenvolveu abaixo do nível d'água, como observa-se na foto aérea de 1973 (figura 25), e foi necessário o esgotamento da cava para o início do aterro.

Para esta área foi desenvolvido projeto que também é apenas conceitual, mostrando os principais elementos geométricos, com importantes inovações em relação aos anteriores. Foi prevista uma camada impermeabilizante de argila na base, "*suficientemente compactada a fim de evitar a contaminação dos lençóis inferiores e superiores*", segundo o relatório do projeto, sem fornecer mais especificações. Ao início de cada camada executariam nova drenagem tipo espinha-de-peixe, como atualmente. O líquido coletado seria bombeado para o córrego ao lado do aterro por pelo menos 5

FOTO 16, à esquerda - Vê-se em primeiro plano árvore com raiz superficial, bem adaptada. Ao fundo dois eucaliptos sendo escorados.
FOTO 17, à direita - Ravina de erosão expondo os resíduos.

FOTO 18, à esquerda - Escadaria destruída por erosão, com exposição dos resíduos (notar sacos plásticos) e surgência de percolado.
FOTO 19, à direita - Surgência de percolado na calçada da Rua Alberto Astori.

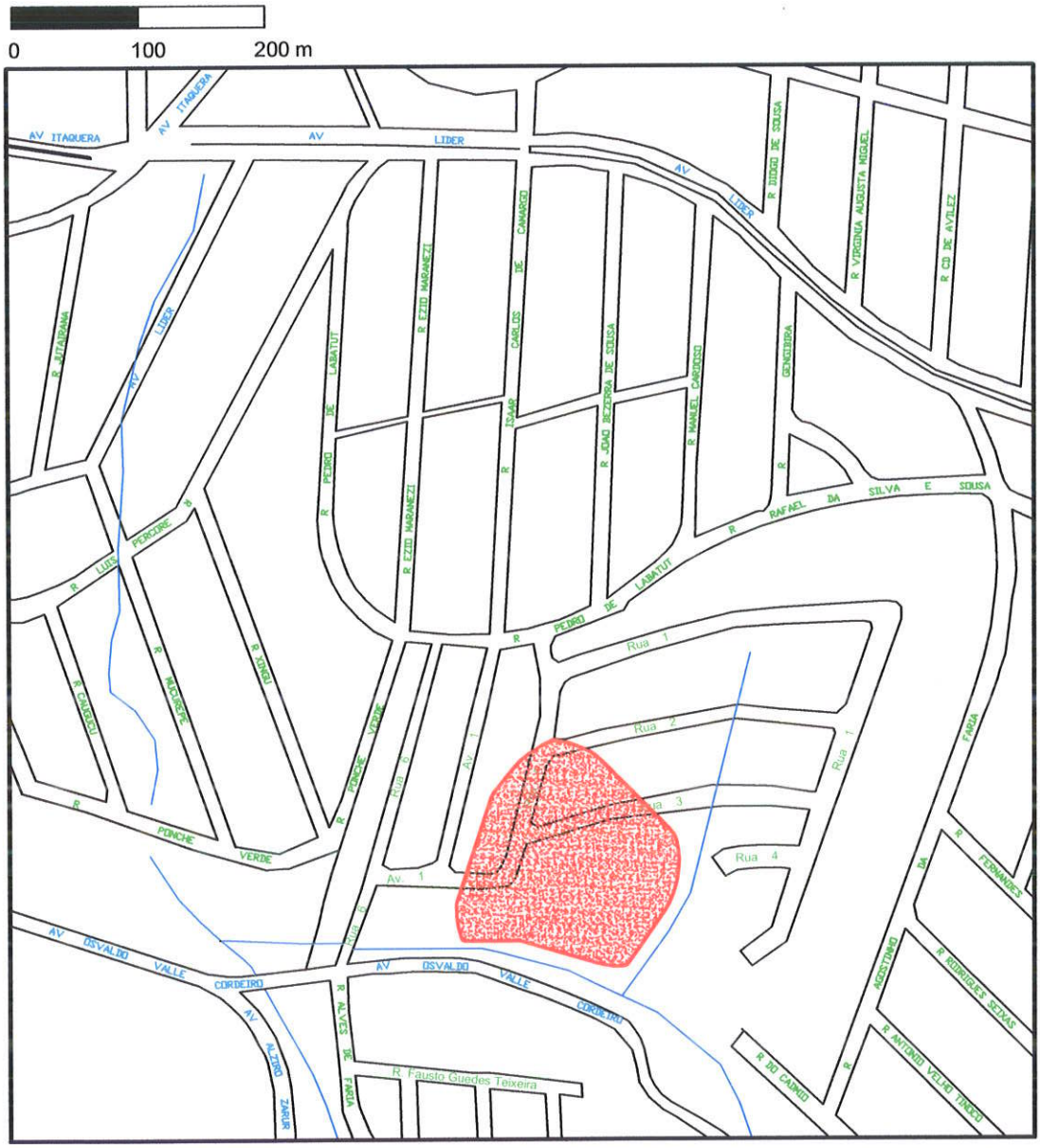

Figura 24. Localização da antiga área de disposição de resíduos
ATERRO PEDREIRA ITAPUÍ
(sobre base digital - GEOLOG/PRODAM)

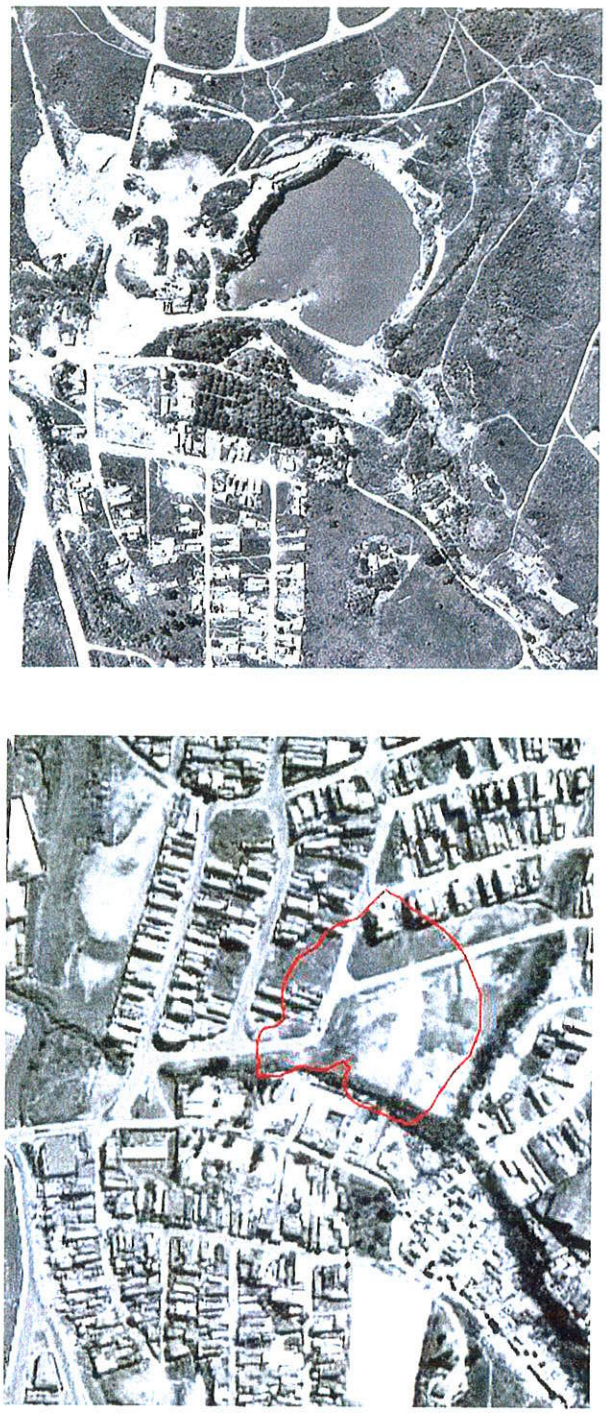

FIGURA 25 - Fotos aéreas da região do aterro da Pedreira Itapuí. Acima foto de 1973 com a cava tomada por água. Abaixo foto de 1997 com a delimitação da cava em vermelho (Fontes: acervos de SEMPLA e SVMA).

anos após seu término e acrescentam : "*só poderá ser interrompido após uma análise rigorosa do percolado e a conclusão de que a decomposição tenha sido concluída , de maneira a não produzir mais chorume e gases*".

A drenagem de gases passou a ser feita com tubos de concreto perfurados, de 20 cm de diâmetro, preenchidos com brita, semelhantes aos que são feitos atualmente, que são de 50 cm, preenchidos com rachão. O projeto não apresenta seções, mas cita que a cava apresentava mais de 20 m de profundidade, e que pretendia-se recompor o terreno inicial. Esta recomposição foi feita e hoje o relevo não apresenta nenhuma anomalia que revele a cava aterrada.

Atualmente a área apresenta uso residencial correspondendo ao loteamento Jardim Nova América, o qual está regularizado, na prefeitura e na CETESB. Consultando-se o processo administrativo n.º 05.002.069.92*42 que trata da aprovação na prefeitura, obteve-se informações interessantes. O proprietário da área arrendou-a à prefeitura para execução do aterro sanitário comprometendo-se a não utilizá-la por 10 anos. No final deste prazo iniciou o processo de aprovação do loteamento, sem informar aos órgãos públicos sobre a existência do aterro, obtendo as licenças em 1989. Durante as obras a área foi objeto de vistoria casual de engenheiros de LIMPURB, que oficiaram a Secretaria da Habitação sobre os possíveis riscos, a qual, por sua vez, acionou a CETESB.

O proprietário foi compelido a realizar investigações, aparentemente só sobre emissões gasosas. Não se conseguiu localizar o processo da CETESB para maiores detalhes, mas na prefeitura consta um parecer técnico de 1993, que foi definitivo para a liberação parcial do loteamento.

Segundo aquele parecer (CETESB,1993) foi executado um envelopamento da rede de esgotos com camada de 30 cm de argila compactada, impermeabilização das paredes dos poços de visita e a construção de uma parede de argila, com 30 cm de espessura e 3,5 m de profundidade, "ao longo de todo o alinhamento da quadra 11 e da área verde nas frentes para as ruas 3 e 5". A posição provável desta barreira, segundo a descrição acima, foi traçada na figura 26 elaborada sobre a planta original do loteamento, onde fica patente sua ineficiência, inclusive em relação a um limite da cava que aparecia traçado à mão na mesma planta.

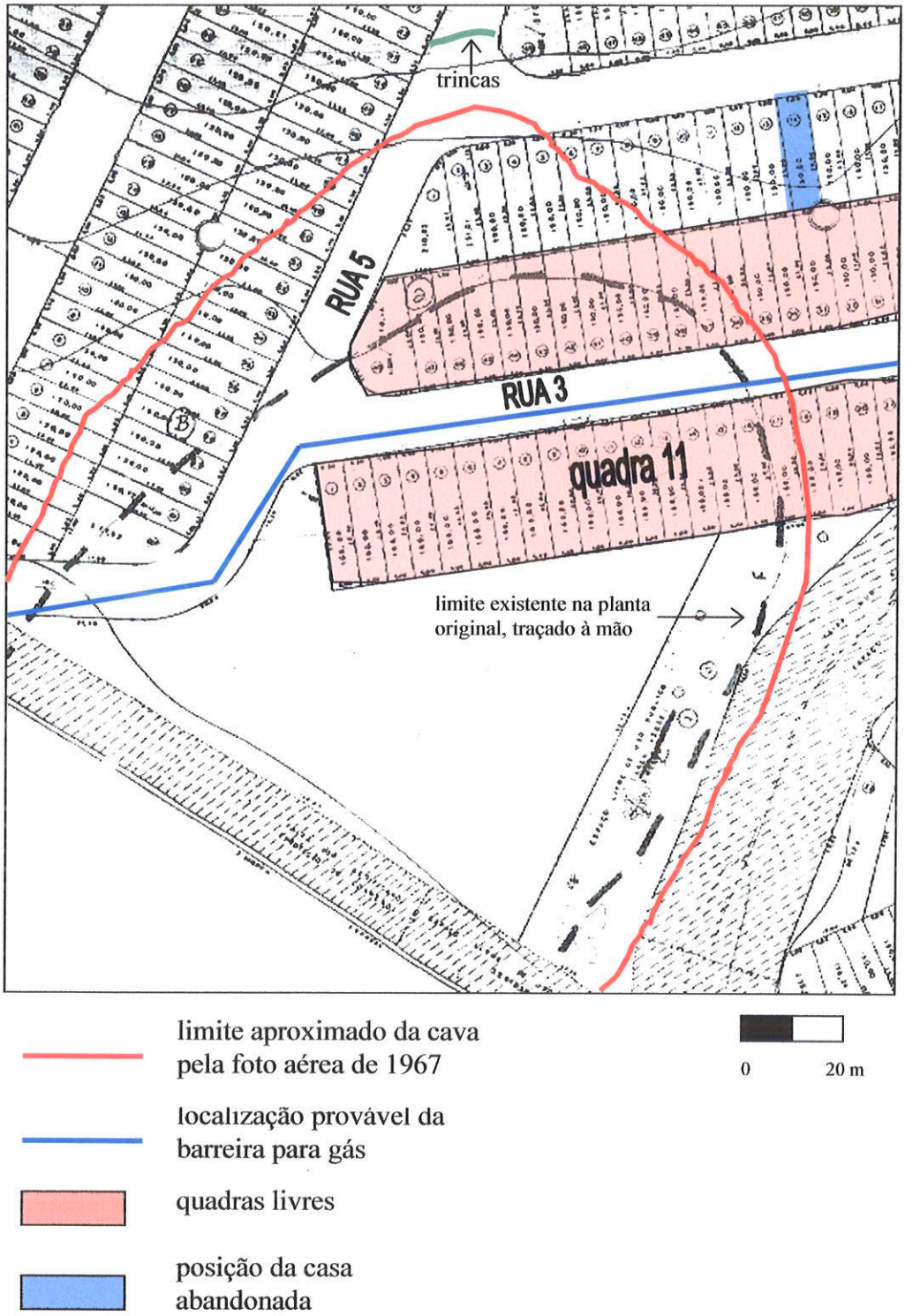

FIGURA 26 - Planta do loteamento Jd. Nova América e os principais elementos relativos ao antigo aterro sanitário da Pedreira Itapuí.

Ainda segundo o parecer, foram instalados 5 poços de monitoramento e "60 poços de ventilação na área de maior geração de gases". O parecer conclui, após medições efetuadas pela CETESB, que os trabalhos mostraram-se eficientes e que não permaneciam fatores que desaconselhassem a implantação do loteamento, excetuando-se a quadra 11, a área verde e a área institucional; e recomendavam a continuidade do monitoramento anualmente. Desta forma o loteamento foi liberado e foi firmado "Termo de Compromisso" em que o loteador se comprometeu a não alienar os lotes de duas quadras, que ainda permanecem livres e cercadas, até o *"completo saneamento da área"* atestado por LIMPURB e pela CETESB, registrando-se estas informações em cartório, junto com a escritura do loteamento.

Esta área encontra-se no cadastro da CETESB como "Antigo Lixão de Itaquera", cuja ficha elaborada em 1994 indicava a existência de oito drenos de gás visíveis em superfície, que hoje já não existem, pois a área tem recebido novos aterros de solo (foto 20).

Com a superposição das fotografias aéreas verificou-se que os limites da antiga cava são maiores do que se acreditava e que várias residências haviam sido edificadas sobre o antigo aterro, como observa-se na foto aérea de 1997 (figura 25). Em vistoria verificou-se várias evidências de recalques do solo, com várias casas trincadas e deformações no pavimento, mostradas nas fotos 21, 22 e 23. As evidências de recalque ocorrem alguns metros além do definido pela foto aérea, o que provavelmente está relacionado à deficiência do método, em função das distorções das fotos, mas também pode significar um efeito de borda das movimentações.

Alguns moradores entrevistados disseram saber da existência dos resíduos e manifestam uma certa revolta pelos recursos dispendidos nas reformas, além da preocupação em relação à emissão de gases. Informaram da existência de uma casa abandonada há cerca de dois anos, devido à presença de gases que teria sido recomprada pelo loteador (fotos 24 e 25). Esta casa foi demarcada na planta do loteamento (figura 26) onde verifica-se que estaria cerca de 20 metros afastada do aterro, embora também esteja trincada. O fato de outras casas aparentemente não terem sido afetadas pelos gases, pode indicar a migração dos mesmos por caminhos preferenciais, pela rocha ou mesmo próximo à superfície e exemplifica a grande dificuldade de se realizar um monitoramento eficaz.

FOTO 20 - Área do aterro da Pedreira Itapuí. Observam-se as quadras livres e cercadas e a disposição recente de terra.

FOTOS 21 e 22 - Deformações no pavimento na rua 5, próximo ao limite da cava e rupturas nas redes enterradas no mesmo local.

FOTO 23 - Detalhe do muro de arrimo para reforço da estrutura, executado ao lado de toda a casa que apresentava várias trincas.

FOTOS 24 e 25 - Casa abandonada pela presença de gases, segundo vizinhos. À direita detalhe da trinca (à 45°, indicativa de recalque) na mesma casa.

Quanto à contaminação das águas subterrâneas, acredita-se que a camada de argila, que teria sido implantada, pode ter atenuado um pouco o possível efeito no aqüífero cristalino, embora a área encontra-se contígua a dois córregos de pequeno porte que são afluentes do córrego Aricanduva e, portanto, em área de descarga de fluxos locais.

8 - SÍNTESE e RECOMENDAÇÕES

Através do levantamento de dados conseguiu-se, para algumas áreas, a localização mais precisa dos locais de disposição e suas características geométricas, em outras serão necessárias mais investigações. O aterro da Pedreira Itapuí é um exemplo de como a localização precisa permitiu identificar problemas não tão evidentes. Nas áreas do Carandiru, Engº Goulart e Jd. Damasceno (trecho de várzea) são necessárias investigações para definir melhor a localização dos resíduos, assim como pesquisar outros possíveis locais de disposição. Recomenda-se a realização de prospecção geofísica através de Radar de Penetração no Solo (GPR) para localização dos aterros. Com o Radar poderiam ser comparadas áreas certamente aterradas com resíduos com outras aterradas apenas com solo (por exemplo os "bota-foras" do Tietê em Engº Goulart) tentando-se obter um indicador mais preciso para a ocorrência de resíduos.

Apesar do longo tempo de fechamento dos aterros os problemas de estabilidade geotécnica são bastante significativos. Os recalques não devem ser relacionados apenas à quantidade de matéria orgânica a degradar, mas também à baixa capacidade de suporte intrínseca destes terrenos, embora geralmente o tipo de fundação não seja tão relevante, visto que a degradação ainda ocorre e portanto a causa dos recalques ocorre em maior profundidade do que as fundações. No aterro da Pedreira Itapuí e no Jd. Damasceno verificou-se como as estruturas apresentam comportamento diferenciado: aquelas mais reforçadas suportam as pequenas movimentações enquanto as mais frágeis podem chegar ao colapso. No trecho de encosta do Jd. Damasceno, a ocupação irregular, caracterizada por ausência de sistema de drenagem e auto-construção, entre outras deficiências, agrava muito este problema, configurando uma área de alto risco geotécnico, para a qual a remoção das moradias é a medida

mais apropriada. Provavelmente as construções do *shopping* no Carandiru e do supermercado em Lauzanne Paulista, foram de alguma forma adaptadas às condições do terreno e não mostram efeitos, pelo menos mais evidentes, de recalques.

Pequenas movimentações associadas com erosão superficial expõem os resíduos nos taludes do Parque Raposo Tavares, o que deve ser solucionado com a melhoria da cobertura com aterro compactado, cobertura vegetal adequada e implantação de sistema de drenagem flexível com manutenção constante. As surgências de percolado devem ser drenadas para sistemas de drenagem superficial enterrados, visto que a maior parte do percolado já atinge os córregos próximos através do aqüífero freático. Esta medida deve ser adotada pelo menos até uma solução mais definitiva em relação à contaminação dos aqüíferos.

As evidências de geração e migração de gases em Lauzanne Paulista e Pedreira Itapui e, principalmente os dados das investigações de Engº Goulart mostram que estes aterros ainda geram quantidades bastante significativas de gases, aparentemente acima do que seria esperado pelo tempo de encerramento, indicando a dificuldade de previsão do comportamento de um aterro sanitário. A aparente inibição da degradação, que precisaria ser melhor caracterizada, pode ser explicada pela co-disposição de resíduos industriais que dificultam o crescimento de microrganismos e/ou pelo fato dos resíduos encontrarem-se na maior parte sob o nível d'água e em áreas de descarga o que poderia inibir a presença e o crescimento dos microrganismos. Na condição saturada apenas os estritamente anaeróbios fariam a degradação. Entretanto, a variação do nível d'água e da velocidade de fluxo alteraria frequentemente estas condições dificultando o crescimento dos microrganismos. Tal aspecto poderia ser melhor investigado comparando-se a quantidade de matéria orgânica em resíduos permanentemente saturados com não-saturados, em um aterro de encosta, como por exemplo o de Raposo Tavares.

As emissões de gases, além do risco de explosão, quando acumulados podem estar causando exposição de pessoas às substâncias tóxicas, como compostos orgânicos voláteis que, como verificado na revisão bibliográfica, em geral estão presentes em aterros municipais de resíduos e são substâncias que em quantidades muito pequenas são prejudiciais à saúde, algumas cancerígenas. Há necessidade de investigação específica, com análise de gases com cromatógrafos portáteis em todos

os aterros ocupados. Em todas as áreas deveriam ser implantados pelo menos sistemas passivos de drenagem e verificado se há migração para os arredores.

Há indicações na bibliografia de que apenas sistemas passivos para drenagem de gases podem não ser suficientes para prevenir totalmente os riscos. Nesse sentido há necessidade de uma avaliação detalhada das drenagens de gases existentes em Carandiru, Lauzanne, Raposo Tavares e Itapui (área limítrofe ao aterro), analisando quantidade e composição dos gases em diversos pontos, verificando-se a necessidade de um sistema ativo. No caso dos aterros com uso residencial (Jd. Damasceno e Pedreira Itapuí), a eliminação dos riscos associada à necessidade do monitoramento constante seria tão complexa e custosa, que provavelmente a relocação das moradias é a melhor solução, embora também acarrete problemas sociais que devem ser adequadamente considerados. Até à solução definitiva deveriam ser abertos drenos nestas áreas e as moradias serem monitoradas frequentemente.

Quanto à contaminação de aqüíferos a totalidade das áreas está em zona de descarga e não foram identificados poços de jusante nas suas proximidades, ocorrendo todas em regiões com rede de abastecimento público. Entretanto, como foi citado em cada caso específico e principalmente no caso das cavas de pedreira, é provável que ao menos uma parcela da contaminação esteja atingindo águas mais profundas, relativas a fluxos de caráter regional. Deveria-se verificar a ocorrência de poços profundos próximos a estas áreas e realizar análise química completa, visto que investigações diretas seriam muito complexas e caras e só justificáveis em um contexto mais avançado a partir da definição da necessidade de remediação.

Considerando-se o aqüífero da Bacia Sedimentar de São Paulo como a principal unidade de exploração e que parte importante de sua recarga provém de fluxos laterais do embasamento cristalino (DAEE, 1975; Rocha *et al*, 1989; Bertolo, 1996), visto sua intensa impermeabilização e dificuldade de fluxo vertical pelas diversas camadas lenticulares argilosas existentes (Bertolo,1996), os aterros que se encontram em terrenos do embasamento podem significar uma importante fonte de contaminação das águas subterrâneas. Principalmente os localizados na região norte, por ser a borda tectônicamente ativa da bacia e, portanto, com mais estruturas abertas e com os terrenos elevados e ainda não ocupados, da Serra da Cantareira. Nesta região estão os aterros de Lauzanne Paulista e Jd. Damasceno, embora o aterro de Vila Albertina

(em manutenção por LIMPURB e não avaliado neste trabalho) seja o mais crítico neste aspecto, por ser maior, mais recente e também realizado em cava de pedreira sem impermeabilização.

A execução de coberturas impermeáveis para evitar o incremento de eventuais plumas de contaminação, que poderia ser uma solução genérica, como no caso do programa de remediações presumidas da USEPA (1997a), nestes casos não são suficientes, pois os resíduos encontram-se abaixo do nível freático e, portanto, também seriam necessárias barreiras hidráulicas e sistemas de bombeamento e tratamento. Em áreas menores a escavação e destinação dos resíduos pode tornar-se viável.

8.1 - Aspectos Legais e Institucionais

O assunto áreas contaminadas é bastante complexo e não se pretende aqui abordá-lo por completo, mas sim levantar alguns aspectos de maior interesse que surgiram da pesquisa realizada.

Exceto no aterro de Engenheiro Goulart, por decisão judicial, não se encontrou nenhum trabalho recente sobre estas áreas, mostrando claramente a necessidade de um programa de gerenciamento de áreas contaminadas, não só para priorizar ações de recuperação, mas também para realizar um controle do uso do solo, através da implantação de um cadastro a ser considerado no planejamento urbano, nos processos para aprovação dos projetos, na transferência de propriedades e/ou mudanças do uso do solo, além de tornar pública a localização das áreas. Este aspecto é particularmente importante para as áreas ainda livres da Pedreira Cit e Vila São Francisco. Tal cadastro também deve ser utilizado para a abertura de poços de captação de águas subterrâneas, no mínimo como informação de caráter preventivo aos empreendedores, mas devendo-se estudar também a possibilidade de implantação de perímetros de controle ao redor das áreas contaminadas.

Preferencialmente as bases do gerenciamento devem ser previstas em lei que defina, pelo menos, quais são os órgãos competentes e suas atribuições. Nesse sentido é fundamental a participação de alguma forma dos órgãos municipais responsáveis por aprovação de projetos habitacionais, viários ou outros e, também do órgão responsável pela aprovação da exploração de águas subterrâneas.

A existência de um órgão com atribuições bem definidas em lei é importante, dentre outros fatores, para poder obrigar a apresentação de documentos existentes e exigir trabalhos de recuperação sem o auxílio de morosas ações judiciais.

Os procedimentos a serem adotados nas diversas etapas do gerenciamento também devem estar previstos, o mais detalhadamente possível, em algum instrumento (decreto ou norma) para que todos os casos sejam tratados uniformemente, sem entretanto desconsiderar cada especificidade. Por exemplo, os métodos de localização da área afetada e da sua área de influência, o que é bastante controverso, devem estar definidos. Outros aspectos que devem ser abordados são a necessidade de interdisciplinariedade na composição das equipes e a definição clara dos mecanismos de participação popular em todas as etapas do gerenciamento.

A previsão de recursos para as chamadas áreas "órfãs" é fundamental. Esta questão de recursos está intrinsecamente relacionada com os mecanismos de responsabilização. Por exemplo, nas áreas estudadas os proprietários cumpriram determinação de aguardar 10 anos para ocupação. A prefeitura por sua vez adotava conhecimentos técnicos da época e aprovou os novos usos e o Estado de São Paulo já possuía a atual lei de poluição desde 1976,que poderia ter sido aplicada com maior rigor. Quem é de fato o responsável pelos problemas atuais? Isto deve ser objeto de amplo debate, mas aparentemente a divisão de responsabilidades seria a solução mais apropriada, principalmente considerando o interesse público e os altos custos envolvidos. Por exemplo, nos EUA a recuperação dos aterros operados por governos locais são financiadas em 50% pelo fundo existente do governo federal (Dinam,2000).

9 - CONCLUSÕES

Os oito aterros avaliados, apesar de encerrados entre 21 e 26 anos atrás, apresentam impactos ambientais muito significativos. Não só referentes à contaminação como também de estabilidade geotécnica.

As principais vias de exposição são o contato direto aos resíduos e ao percolado, onde os maiores riscos encontram-se no Aterro Raposo Tavares e no Aterro do Jd. Damasceno, e as emissões gasosas nas áreas ocupadas. A permanência de residências sobre os aterros da Pedreira Itapui e do Jd. Damasceno envolveria

investigações e sistemas ativos monitorados de alto custo, provavelmente inviáveis. Nos aterros do Carandiru e Lauzanne Paulista, utilizados como *shopping* e supermercado respectivamente, deve ser avaliada a eficiência dos sistemas passivos existentes, não só quanto à explosividade, mas também quanto a presença de substâncias tóxicas voláteis; aspecto que também deve ser investigado nas áreas de parque: Parque Raposo Tavares e Parque Engº Goulart.

A exposição pela contaminação das águas subterrâneas não se mostrou uma via muito importante, visto que os aterros estão em áreas de descarga locais. Entretanto é possível um efeito em sistemas aqüíferos mais profundos e estas áreas devem ser consideradas em um eventual sistema de controle da qualidade das águas subterrâneas na Região Metropolitana de São Paulo, levando-se em conta que também receberam resíduos industriais.

Os problemas geotécnicos são mais significativos nos aterros de encosta como Raposo Tavares e Jd. Damasceno, este último apresentando situações de risco de destruição de moradias devido à associação com os fatores da ocupação desordenada. Os recalques embora pequenos são suficientes para causar bastante prejuízo material com a necessidade de manutenções constantes de residências e da infra-estrutura urbana.

Em um sistema de gerenciamento de áreas contaminadas, os locais de disposição de resíduos não devem passar pela etapa de classificação como "área suspeita" e sim já serem consideradas áreas contaminadas passíveis de recuperação. Este trabalho mostrou como é importante a etapa de avaliação preliminar, onde através de dados existentes pode-se reduzir muito, ou até eliminar, a necessidade de investigações para implementar as medidas de recuperação, garantindo-se que os recursos estão sendo destinados realmente às áreas mais críticas.

É fundamental a implantação de um programa de gerenciamento para áreas contaminadas, preferencialmente integrado entre estado e município, no qual estas oito áreas deverão ser consideradas em conjunto com outras possivelmente mais críticas para efeito de priorização.

10 - BIBLIOGRAFIA

ALMEIDA, F. F. M. (1955). *As camadas de São Paulo e a tectônica da Serra da Cantareira.* Boletim da Sociedade Brasileira de Geologia. SBG. nº 2, vol.4, p. 23-40.

ANDERSON, G. D. (1990). *What Needs to Be Done: A Policy Perspective on Ground Water and Soil Contamination.* In: Ground Water and Contamination Remediation: Toward Compatible Science, Policy, and Public Perception.- National Academy Press – Washington, D.C – p. 53-69.

BACHMANN, G. (2000). *Soil Protection Policy in Germany.* II Seminário Internacional sobre Qualidade de Solos e Águas Subterrâneas. Anais. CETESB.

BAGCHI, A. (1990). *Design, construction and monitoring of sanitary landfill* - John Wiley & Sons, Inc. 284p.

BEAULIEU, M. (1998). *The Use of Risk Assesment and Risk Manegement in the Revitalization of Brownfields in North America : A Controlled Opening.* In: Contaminated Soil'98. Thomas Telford, London,p. 51-59

BECKETT, M. J. (1993) . *Land Contamination.* In: Contaminated Land – Problems and Solutions. Edited by Tom Cairney – Blackie Academic and Professional – London –351p.

BERENDSEN, T. (1998). *After-care is Management care.* In: Contaminated Soil'98. Thomas Telford, London, p.621-630.

BERTOLO, R. A. (1996). *Relações entre rios e o aqüífero sedimentar da Bacia de São Paulo em área de exploração intensiva de água subterrânea.* Dissertação de Mestrado. Instituto de Geociências. Universidade de São Paulo. São Paulo.97p.

BUREAU DE PROJETOS E CONSULTORIA LTDA. (1999).*Monitoração da presença de biogás na área do bota-fora nº6 - Pq. Ecológico Tietê - Engº Goulart* - Avaliação Global - abril/99.

CAIRNEY, T. & SHARROCK, T. (1993). *Clean Cover Technology.* In: Contaminated Land - Problems and Solutions.Blackie Academic e Professional. 351p.

CARELLA, F. & CHIAPPINI, M. L. (1995). *Legislation for soil quality protection and contaminated sites reclamation in Regione Lombardia (Italy). In : Contaminated Soil'95, Maastrich, Proceedings.* The Research Center Karlsruhe (FZK) and Netherlands Organization for Applied Scientific Research- TNO.1995. v.1. p.87-88.

CASARINI, D. C. P. (1997). *Qualidade de solos e águas subterrâneas: padrões e legislações* - Relatório Técnico de viagem à Holanda. CETESB. 21p.

CASARINI, D. C. P.(2000). *Proposta de valores de referência de qualidade e intervenção para solos e águas subterrâneas no estado de São Paulo.* II Seminário Internacional sobre Qualidade de Solos e Águas Subterrâneas. Anais. CETESB.

CLEARY, M. T. C. B. F. (1992). *Investigação através de modelos matemáticos em microcomputadores dos efeitos dos principais parâmetros hidrogeológicos e dos processos atenuantes de transporte na delineação de Áreas de Proteção de Poços (APP) e na remediação de aqüíferos contaminados.*- Dissertação de Mestrado- IGUSP-p.169.

CLEARY, R. W. & MILLER, D. W. (1984). *Aspectos fundamentais e monitoramento de poluição de águas subterrâneas* - 3º Cong. Bras. De Águas Subterrâneas, Fortaleza (CE), v.5,p.313-330.

COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DO ALTO TIETÊ. (2000). *Plano da Bacia do Alto Tietê -Relatório Zero de Situação dos Recursos Hídricos* Revisão I. Secretaria de Recursos Hídricos, Saneamento e Obras do Estado de São Paulo.375 p.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL - CETESB, 1977. Aterro Sanitário de Enº Goulart - Estudos sobre a tratabilidade dos líquidos percolados dos aterros sanitários em lagoas de estabilização - relatório final. Relatório interno da Diretoria de Tecnologia de Resíduos Sólidos.São Paulo.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL - CETESB, (1993). *Ocorrência de gases em área do loteamento "Jardim Nova América".* Parecer Técnico nº045/93-MATR. Gerência de Resíduos Sólidos.3p.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL - CETESB (1999a). *Manual de Gerenciamento de Áreas Contaminadas*- Projeto CETESB-GTZ - Cooperação Técnica - Brasil-Alemanha.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL - CETESB. (1999b). *Levantamento das áreas de disposição de resíduos sólidos no município de São Paulo.* Coord. Gunter, M. A.. Projeto CETESB-GTZ - Cooperação Técnica - Brasil-Alemanha.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL - CETESB. (1999c). *Inventário Estadual de Resíduos Sólidos Domiciliares* - Relatório Síntese - Diretoria de Controle Ambiental. Página Internet : www.cetesb.br

CUMMINS, D. I. and FOLKARD, A. M. (1998). *Hyper-spectral remote sensing of spread of soil contaminants from landfill sites.* In: Contaminated Soil'98. Thomas Telford, London. 153-161.

CUNHA, R. C. A. (1997). *Avaliação de risco em áreas contaminadas por fontes industriais desativadas- estudo de caso.* Tese de doutoramento. Instituto de Geociências- USP. 118p.

DENNER, J. M. & LOWE, M. F. (1995) *U.K. Contaminated Land Policy Developments.* In : Contaminated Soil'95, Maastrich, Proceedings. The Research Center Karlsruhe (FZK) and Netherlands Organization for Applied Scientific Research- TNO.1995. v1. p.75-83.

DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA - DAEE. (1975). *Estudo das Águas Subterrâneas. Região Administrativa 1, Grande São Paulo..* São Paulo – vol.1 texto,220p. – vol.2 anexos,179p.- vol.3, 18 mapas..

DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA - DAEE. (1997). *Complexo Ecológico Alto Tietê .* Relatório innterno da Divisão Técnica de Parques. Depto. de Águas e Energia Elétrica. Secretaria de Recursos Hídricos, Saneamento e Obras do Estado de São Paulo.

DEPARTAMENTO DE LIMPEZA URBANA - LIMPURB. (1974). *Projeto RARES - Recuperação de áreas por resíduos sólidos.*, Sec. de Serviços Municipais - PMSP - Relatório interno.

DEPARTAMENTO DE LIMPEZA URBANA - LIMPURB (1995). *Estado da arte das destinações - Parte I - Caracterização das unidades existentes.* Depto. de Limpeza Urbana. Secretaria de Serviços e Obras - PMSP - Relatório interno.

DEPARTAMENTO DE LIMPEZA URBANA - LIMPURB (1999) *Diretrizes de Limpeza Urbana para o Município de São Paulo - Diagnóstico - vol.1* - Relatório de grupo de trabalho - Depto. de Limpeza Urbana. Secretaria de Serviços e Obras - PMSP - Relatório interno.

DIAS, C. L. (2000) - *Metodologia para derivação de valores intervenção para solos e águas subterrâneas no estado de São Paulo.* II Seminário Internacional sobre Qualidade de Solos e Águas Subterrâneas. Anais. CETESB.

DIEGUES, A. C. S. (1995). *Ecologia humana e planejamento em áreas costeiras.* Núcleo de Apoio à Pesquisa sobre Populações Humanas e Áreas Húmidas Brasileiras (NUPAUB)- Universidade de São Paulo (USP). 190p.

DINAM, A. J. (2000) *Legislative and technical support for the protection of soils and groundwater in the United States.* II Seminário Internacional sobre Qualidade de Solos e Águas Subterrâneas. Anais. CETESB.

FEUILLET, C. (1995) *The French Water Agencies Contaminated sites remediation program: an example of public policy.* In : Contaminated Soil'95, Maastrich, Proceedings. The Research Center Karlsruhe (FZK) and Netherlands Organization for Applied Scientific Research- TNO.1995. v1.93-94.

FLEEMING, G. (1997). *Hydrogeochemical Engineering in Landfills.* IN: Geochemical Approaches to Environmental Engineering of Metals . Amsterdam, Springer, p. 183-212.

FREEZE, R. A. & CHERRY, J.A. (1979). *Groundwater.* Prentice-Hall, Inc. New Jersey. 604p.

GANDOLA, M.; ACAIA, C. ;FISCHER, C. (1998) *Landfill gás migration in the subsoil - experiences of control and remediation.* International Directory of Solid Wste Management. The ISWA Yearbook, James & James (Sciense Publishers), London, p.237-245.

GARVIN, S. L. ; HARTLESS, R. ; TEDD, P. (1998) *Buiding on Contaminated Lands : The Risks.* In: Contaminated Soil'98. Thomas Telford, London, p.641-650.

GLOEDEN, E.; GUTIERREZ,A., CUNHA,R.C.; AQUINO.,W; AQUINO NETO,V.; ALMEIDA, N.A.; FRACAROLLI, M.J.; GUNTHER,M.A; MARKER,A. (1997). *Gerenciamento de Àreas Contaminadas.* I Workshop sobre Àreas Contaminadas. Resumos Expandidos. São Paulo. p 07-09. CETESB , GTZ, IG-USP .

GLOEDEN, E. (1999). *Gerenciamento de áreas contaminadas na bacia hidrográfica do reservatório Guarapiranga.* Tese de Doutoramento. IG-USP. 225p.

GRUBE,W. (1992). *Covers, slurry walls, grouting, and dynamic compaction for RCRA corrective action stabilization.* In: RCRA Corrective Action Stabilization Technologies, *Proceedings* , USEPA, P. 29-40. /EPA/625/R-92/014 .

HASSUDA, S. (1997). *Critérios para a gestão de áreas suspeitas ou contaminadas por resíduos sólidos - Estudo de caso na Região Metropolitana de São Paulo.* Tese de Doutoramento. IG-USP. 142p.

HICSAN Ltda. (1985). *Parecer sobre a viabilidade técnica de implantação de um loteamento em área de um aterro sanitário desativado.* Relatório Técnico. 37 p.

HIRATA, R. C. A. (1994). *Fundamentos e estratégias de proteção e controle da qualidade das águas subterrâneas. Estudo de casos no Estado de São Paulo.* Tese de Doutoramento. IG-USP. 195p.

KABBE, G.; ROSS, H. J.; WIRTZ, A.; FORGE, F.; SCHRÖDER, H. F.; DOHMANN, M. (1995). *Assessing The Long-Term Behaviour of Landfills for a Integrated Land Management. In :* Contaminated Soil'95, Maastrich, Proceedings. The Research Center Karlsruhe (FZK) and Netherlands Organization for Applied Scientific Research- TNO.1995. v2. p. 1620-1621.

KRYSTALAS, M. M..(1993). *Histórico da Secretaria e Departamento.* Relatório interno, Depto. de Limpeza Urbana, Sec. de Serviços e Obras

LEE ,G.F. & JONES-LEE, A. (1993) *Groundwater Pollution by Municipal Landfill: Leachete Composition, Detection and Water quality Significance.* Poc. Sardinia'93 IV International Landfill Syposium, Sardinia, Italy, p. 1093-1103.

LEE ,G.F. & JONES-LEE, A. (1994) *Impact of Municipal and Industrial Non-hazardous Waste Landfills on Public Health and the Environment: An Overview.* Prepared for Califórnia EPA Comparative Risk Project, Sacramento, CA.

LEE ,G.F. & JONES-LEE, A. (1995) *Overview of Landfill Post Closure Issues.*- Presented at American Society of Civil Engineers session : "Landfill Closures - Environmenteal Protection and Land Recovery". New York, NY.

MATHER, J, D. (1994). *Preventing groundwater pollution from landfilled waste - is engineered containment an acceptable solution?* In : Groundwater Quality. Edited by H. Nash and G.J.H. McCall. Published by Chapman & Hall. p. 191 - 195.

MATSUFUJI, Y. (1990). *Technical Guideline on Sanitary Landfill.* Kyushu International Center. Japan International Cooperation Agency and KITA Environmental Cooperation Center.

MENEZES, N. A. (1976). *Aterros Sanitários em São Paulo.* Palestra apresentada no II Congresso Brasileiro de Limpeza Pública.

MENDONÇA, R. (1979). *A Experiência Paulistana em Aterros Sanitários Sob Empreitada.* VI Seminário Nacional De Limpeza Pública. Recife.

MENDONÇA, R. & MENEZES, L.V.T. (1987). *Aproveitamento do gás metano proveniente dos Aterros Sanitários do Município de São Paulo.* Revista Limpeza Pública, nº 27 - Associação Brasileira de Limpeza Pública. ABLP. p11-14.

NIJS, W. D. & DYCK, V. E. (1995) *The legislation concerning soil remediation in Flanders (Belgiun).* In : Contaminated Soil'95, Maastrich, Proceedings. The Research Center Karlsruhe (FZK) and Netherlands Organization for Applied Scientific Research- TNO.1995. v2. p. 1620-1621.

NORTH ATLANTIC TREATY ORGANIZATION-NATO/ COMMITTEE ON THE CHALLENGES OF MODERN SOCIETY -CCMS (1998). *Evaluation of Demonstrated and Emerging Technologies for the Treatment and Clean Up of Contaminated Land and Groundwater* - Pilot Study (Phase III) - Annual Report - Vienna, Austria.

OLIVEIRA, F.J.P. & MAHLER C. F. (1998). *Proposta de monitoramento ambiental para operação de aterros sanitários.* Encontro Nacional de Limpeza Pública, Anais. Associação Brasileira de Limpeza Pública.p. 145-163.

PACHECO, A. (1984) *Análise das características da legislação para uso e proteção das águas subterrâneas em meio urbano* - Tese de Doutoramento - Instituto de Geociências - USP , 170p.

PALMER, C. M. (1996) *Principles of contaminant Hidrogeology*. Lewis Publishers. New York. 235 p.

PAULSON, G. (1990). *Tools and Resources Available : Policy Issues*. In: Ground Water and Contamination Remediation: Toward Compatible Science, Policy, and Public Perception.- National Academy Press – Washington, D.C – p. 91-103.

REBOUÇAS, A. C.;RICCOMINI,C.; ELLERT,N.; DUARTE,U.; MELLITO, K.M.; SENF,L. A.; SOUZA, J.C.S. (1994). *Diagnóstico hidrogeológico da Região Metropolitana de São Paulo - uso e proteção*. 8º Cong. Bras. de Águas Subterrâneas. ABAS. Recife. p. 93 a 102.

RHYNER, R. C; SCHWARTZ, J. L.; WNGER,B. R.; KOHRELL, G. M. (1995) *Waste Management and Resource Recovery*. Lewis Publishers, Boca Ronta, Flórida, 524 p.

ROCHA, A.A.(1993). *A história do lixo através dos tempos*. SEMA- "Resíduos Sólidos e Meio Ambiente"- Série Seminários e Debates - SP

ROCHA, G. A.; GONÇALVES, V. G.; REBOUÇAS, A. C.; BARRETO, L. M. B. (1989) Hidrogeologia da Bacia de São Paulo.Workshop: Geologia da Bacia de São Paulo, SP. IG/USP, SBG/SP. São Paulo. p. 44 49.

SANCHEZ, L. E. (1997) *Uma tipologia de políticas de gestão de sítios contaminados* - In: I Workshop sobre áreas contaminadas - CETESB/GTZ, Instituto de Geociências - USP - São Paulo - p. 21-24.

SANCHEZ, L. E. (1998). *Desativação de empreendimentos industriais: um estudo sobre o passivo ambiental*. Tese de Livre-docência da Escola Politécnica- USP - 178p.

SCHALCH, V. (1984). *Produção e Características do Chorume em processo de decomposição de Lixo Urbano* - Dissertação de Mestrado - Escola de Engenharia de São Carlos, 102p.

SECRETRARIA MUNICIPAL DO PLANEJAMENTO - SEMPLA (1993). *Carta Geotécnica do Município de São Paulo*- 1:10.000. 81 folhas e relatório..

SMITH, M. V. (1993). *Landfill Gases* . In: Contaminated Land - Problems and Solutions.Blackie Academic and Professional. 351p.

SYMS, P. M. (1998). *The Redevelopment of Contaminated Land for Housing Use*. In: Contaminated Soil'98. Thomas Telford, London, p.671-679

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY - USEPA (1996). *Soil Screening Guidance*: User's Guide- Second Edition. Office of Emergency and Remedial Response . 540/R-96/018. Washington

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY - USEPA (1997a). *Landfill Presumptive Remedy Saves Time and Cost*. Office of Solid Waste and Emergency Response - EPA540/F-96/017 (5202G).

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY - USEPA (1997b) *Landfill Reclamation*. Office of Solid Waste and Emergency Response - EPA530-F-97-001 - (5306W)

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY - USEPA (1998) *Institutional Controls In Risk-Based Corrective Actions* - www.epa.gov/ OUST/ rbdm/ instctrl.htm

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY- USEPA. (1999) *Record of Decision (ROD) Abstract - site HIMCO DUMP.*: www.epa.gov/superfund/sites.

WALSH, D. C. & LaFLEUR, R. G. (1995) *Landfills in New York City* : 1844-1994. In : Ground Water, vol. 33, nº4, p. 556-560.

10.1 - Legislação Citada

Lei Estadual nº 997 de 1976: dispõe sobre o controle de fontes de poluição no Estado de São Paulo atribuindo esta competência à CETESB.

Decreto Estadual nº. 8468 de 1976: regulamenta a lei 997 e estabelece as ações de controle ambiental e padrões, licenças para fontes potenciais de poluição e as sanções para ações corretivas. Estipula que o uso do solo para disposição final de resíduos seja permitida apenas em condições adequadas definidas em projeto, bem como define responsabilidades para tratamento, transporte e disposição de resíduos.

Lei Estadual nº 6.134, de 1988 : dispõe sobre a preservação dos depósitos naturais de águas subterrâneas do Estado de São Paulo. Estipula que as águas subterrâneas deverão ter programa permanente de preservação e conservação, visando seu melhor aproveitamento através de seu uso racional, aplicação de medidas contra a sua poluição e manutenção do seu equilíbrio físico, químico e biológico em relação aos demais recursos naturais.

Portaria do Ministério da Saúde, nº 36, de 1990 : estabelece padrões de potabilidade para águas destinadas ao consumo humano