

## ASPECTOS DO MEIO FÍSICO EM ÁREA PERTENCENTE AO LIXÃO DO ALVARENGA, MUNICÍPIO DE SÃO BERNARDO DO CAMPO, SP

Ângelo José Consoni<sup>1</sup>, André Luiz Bonacin Silva<sup>2</sup>

**Resumo** - Este trabalho apresenta os resultados preliminares obtidos no diagnóstico do meio físico em área pertencente ao lixão do Alvarenga, localizado no limite entre os municípios de São Bernardo do Campo e Diadema, SP. O local está em área de proteção de mananciais – APM, e situa-se a cerca de 400 m do reservatório Billings, uma das principais fontes de abastecimento de água da região metropolitana de São Paulo (RMSP). Historicamente, o lixão foi operado de 1974 a 1986, recebendo resíduos domiciliares dos municípios de São Bernardo do Campo e Diadema, porém, desde sua origem, nunca sob condições sanitárias adequadas. Há sérios indícios de que ao longo de seu funcionamento tenha recebido carga de resíduos industriais, não só pela existência, até hoje, de inúmeros tambores com produtos químicos, mas também pelos fatos de estar em região altamente industrializada e de não possuir controle eficiente de acesso. Atualmente, a deposição prossegue na porção de responsabilidade do município de Diadema, "somente para inertes". Neste texto, são abordadas, conceitualmente, atividades de diagnóstico das fontes de contaminação e do ambiente atingido (meios físico, biótico e sócio-econômico); identificação dos principais impactos ambientais; planejamento de investigações complementares; monitoramento etc. São discutidas, ainda, simulações preliminares de opções de mitigação e/ou remediação. A área investigada restringiu-se exclusivamente à vertente do aterro situada no território de São Bernardo do Campo, somando cerca de 170.000 m<sup>2</sup> de área.

**Abstract** - This work attempts to the preliminary results of geological-environmental diagnosis in Alvarenga landfill, located between the cities of São Bernardo do Campo and Diadema, São Paulo, Brazil. The area belongs to a Fountain Protection Area - APM, situated 400m from Billings reservoir, one of the most important drinking water resources of the São Paulo Metropolitan Region (RMSP). Historically, this landfill had been operated from 1974 to 1986, receiving domestic waste from São Bernardo do Campo and Diadema, in inadequate sanitary conditions. There are serious suspects of inadequate industrial waste disposal, due to the existence of chemical products, the lack of access control to the landfill area and because the region is near industrial districts, without industrial waste disposal management policy. Nowadays, mainly inert waste has been disposed. The following text shows, conceitually, local geology, hydrogeology and

---

<sup>1</sup> Agrupamento de Geologia Aplicada ao Meio Ambiente (AGAMA), Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT), Caixa Postal 0141, CEP 01064-970, São Paulo, SP, e-mail: aconsoni@ipt.br

<sup>2</sup> Pós-graduando, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo (USP), Rua do Lago, 562, CEP 05508-900, São Paulo, SP, e-mail: abonacin@usp.br

contamination sources diagnosis, as well as physical, biotic and social-economic local aspects. Besides, the main environmental impacts re identified, additional and monitoring investigations are proposed, and remediation/mitigation preliminary simulations are discussed.

The investigated area in this paper is restrict to São Bernardo do Campo landfill part, with total surface of 170,000 sq. m.

**Palavras chave** - lixão, diagnóstico do meio físico, disposição de resíduos sólidos.

## **LOCALIZAÇÃO E ACESSO**

O lixão do Alvarenga está localizado em área que abrange a divisa intermunicipal dos municípios de São Bernardo do Campo e Diadema, na Região Metropolitana de São Paulo - RMSP, em Área de Proteção de Mananciais - APM, a cerca de 400 m do reservatório da represa Billings (Fotos 1 e 2).

O acesso à área é feito, a partir do km 20,8 da rodovia dos Imigrantes, sentido litoral, pela avenida José Odorizzi, av. Robert Kennedy, praça Giovanni Breda e estrada dos Alvarengas.

## **MÉTODOS DE TRABALHO**

A execução do trabalho compreendeu o desenvolvimento das seguintes atividades:

- levantamento de informações já existentes acerca do local, através de pesquisa bibliográfica e vistorias prévias;
- execução de ensaios geofísicos;
- ensaios de permeabilidade em amostras não-deformadas de solo para determinação, em laboratório, da condutividade hidráulica do substrato local;
- avaliação dos ensaios e das informações coletadas;
- vistorias adicionais para a coleta de informações complementares.

## **SÍNTESE BIBLIOGRÁFICA**

A pesquisa bibliográfica envolveu trabalhos de avaliação de impactos e de remediação ou mitigação de áreas contaminadas pela disposição de resíduos sólidos, bem como dados referentes à área do lixão: relatórios técnicos, documentação cartográfica, laudos de análises de água e solo, estudos geológicos e hidrogeológicos etc.



Foto 1 - Vista do lixão do Alvarenga (ao fundo) e habitações adjacentes, a partir de estrada marginal ao reservatório Billings (agosto de 1998).



Foto 2 - Detalhe da anterior, com frente de avanço de lixão, em sentido ao reservatório Billings (agosto de 1998).

### **Geologia, pedologia e hidrogeologia**

Na área do lixão do Alvarenga ocorrem rochas metamórficas de baixo grau, representadas por xistos e filitos (SMN et al., 1986).

Os xistos apresentam granulação predominantemente fina a média, foliação bem desenvolvida e de constituição ora mais micácea ora mais quartzosa. Essas rochas normalmente apresentam espesso manto de alteração (solo de alteração + rocha muito alterada), atingindo até uma dezena de metros nos relevos suavizados e alguns metros, nos acidentados. O solo de alteração possui constituição variando de argilo-siltosa, nos xistos micáceos, a areno-siltosa, nos xistos quartzosos e espessura da ordem de 2 a 3 m.

Os filitos apresentam granulação muito fina e foliação bem desenvolvida, sendo constituídos predominantemente por quartzo e sericita. Seu manto de alteração, no entanto, é bastante espesso, apresentando de dezenas de metros, nos relevos suavizados, a alguns metros, nos acidentados.

Entremeados aos xistos e filitos, ocorrem, generalizadamente, faixas de metarenitos finos a metassiltitos cuja alteração dá origem a solos arenosos bastante erodíveis.

Segundo DAEE (1975), na área em análise ocorre o sistema aquífero cristalino, de características heterogêneas, localmente constituído por xistos. Na porção do aquífero em que a rocha apresenta-se inalterada a água escoar somente pelas fissuras, conferindo-lhe um comportamento praticamente de aquícluíde, contendo pouca água. Já na porção em que na constituição predomina rocha parcialmente alterada, o aquífero é permeável e de alta transmissividade. Na região de São Bernardo do Campo os poços apresentam vazão específica média da ordem de  $0,11 \text{ m}^3/(\text{h.m})$ , característica de baixa produção.

Segundo Pacheco et al. (1994), o aquífero local é do tipo livre, apresentando profundidades do nível d'água entre 24 m, na vertente, e 1 m, nas porções próximas ao vale. O gradiente hidráulico situa-se em torno de  $0,06 \text{ m/m}$ .

### **Geomorfologia**

O relevo local é representado, predominantemente, por morros baixos, embora também ocorra relevo de morrotes (SMN et al., 1986).

No relevo de morros baixos, ondulado, predominam amplitudes entre 90 e 110 m e declividades de encostas entre 20 e 30%. Subordinadamente, ocorrem declividades de até 20%, nos topos de elevações, e maiores que 30%, no terço inferior das encostas e nas cabeceiras de drenagem. As encostas apresentam-se sulcadas por linhas e cabeceiras de drenagem. Os topos das elevações são estreitos e alongados; os vales são fechados e assimétricos, com planícies aluviais restritas.

Na porção de morrotes, também de relevo ondulado, há predominância de amplitudes menores, em torno de 60 m, podendo atingir até 90 m. A declividade das encostas predominante é de até 30%. Subordinadamente, as declividades são superiores a 30%, no terço inferior de algumas encostas e cabeceiras de drenagem. A densidade de linhas de drenagem é variável, sendo maior nas encostas íngremes. Os topos são relativamente amplos e alongados, enquanto os vales são fechados e com planícies aluviais restritas.

### **Impactos negativos na área do lixão e arredores - estudos anteriores**

Bernardes Jr. et al. (1986), em seus estudos comparativos da poluição ambiental causada por locais de disposição de resíduos, avaliaram as condições de alguns aterros da RMSP. Dentre eles, foi incluído o lixão do Alvarenga, sendo avaliado com relação aos seguintes aspectos:

- **problemas à saúde pública:** potencial de poluição das águas subterrâneas e superficiais; liberação de gases tóxicos; proliferação de vetores.
- **incômodos à população:** distância da ocupação urbana (população); percepção de odores; impacto visual; fumaça; poeira; barulho excessivo; presença de vetores;
- **aspectos da operação do local:** cobertura; sistema de drenagem subsuperficial e tratamento eficiente do chorume; presença de catadores; registro de chegada de resíduos industriais; programa de monitoramento; sistema de drenagem de gases; plano de inspeção em funcionamento; sistema de drenagem superficial em funcionamento; plano de emergência; existência de acessos; existência de cerca e portaria; proteção de taludes; compatibilidade com o uso do solo na região; danos à ecologia etc.

Bernardes Jr. et al. (1986) concluíram que, dentre os vários locais de destinação de resíduos na RMSP, o lixão do Alvarenga (ou "aterro de São Bernardo do Campo", conforme citação original dos autores) era o local a ser priorizado para ações de controle, em face dos impactos negativos instalados, sobretudo em decorrência da recepção de grandes volumes de resíduos industriais, dos problemas operacionais do local e da influência direta na qualidade das águas superficiais próximas.

Pacheco et al. (1994) estudaram os impactos dos percolados sobre a água subterrânea nas imediações do lixão do Alvarenga, analisando área situada no reverso da vertente sobre a qual se assenta o aterro, portanto, já em área situada no município de Diadema. Esses estudos, que envolveram investigações geofísicas e algumas análises hidroquímicas e bacteriológicas de água de poços tipo cacimba, detectaram evidências de contaminação proveniente do local de disposição de resíduos.

### **Remediação de áreas de disposição de resíduos - aspectos teóricos**

A contaminação é um tema emocional e a percepção de perigo a ela associado pode guardar pouca semelhança com o risco real. Segundo Simmons (1998), cada vez mais a avaliação de locais contaminados tem feito uso da abordagem de avaliação de risco, fundamentando-se no trinômio "fonte - caminho de propagação - receptor", para determinar se a remediação é ou não necessária e em que grau. Todos estes três elementos devem estar presentes para haver risco. A presença de uma fonte de contaminação pode não necessariamente constituir risco se, por exemplo, inexistir ou o caminho de propagação do poluente ou os receptores a serem afetados.

No estudo de antigos aterros de resíduos é freqüentemente útil lembrar que estes são essencialmente um depósito geológico, embora de idade muito recente e de natureza

mais especializada. Sob este ponto de vista, deve-se buscar o entendimento da origem e das características dos resíduos e da maneira como esses foram ali dispostos.

Segundo o USEPA (1982), os materiais dispostos em aterros de resíduos, ou em outros locais de disposição final de resíduos no solo, estão sujeitos a vários processos de transporte que podem levar à contaminação ambiental das áreas circunvizinhas (Figura 1). Estes processos de transporte geralmente envolvem a transformação inicial das substâncias presentes nos resíduos, usualmente por meio de solubilização, volatilização e reações químicas ou biológicas.

Portanto, uma primeira abordagem dos estudos de áreas contaminadas deve contemplar investigações para obtenção do histórico de operação do local e determinação das fontes de contaminação que estão presentes. A partir desse conhecimento é que se poderá diagnosticar os principais caminhos de migração dos poluentes e efetuar a análise da sensibilidade das áreas circunvizinhas, identificando-se os receptores mais importantes. Neste sentido, as águas superficiais e subterrâneas são peças-chave nesta análise.

Desse modo são reunidos os elementos para a análise de risco propriamente dita. Deve-se ter condições de responder com segurança se a presença de contaminantes é tal que constitua um risco para os vários receptores de modo que seja necessária a etapa de remediação. De acordo com os níveis de resposta à questão anterior, considerando-se os vários meios afetados, caberá o planejamento da etapa de remediação, necessariamente envolvendo detalhadas investigações diretas e análises laboratoriais, além das avaliações econômicas das alternativas de ações a executar.

Um aspecto ressaltado diz respeito ao alto custo das análises químicas, onde alguns autores sugerem, em contrapartida, a aplicação de técnicas de caracterização mais rápidas, inclusive as geofísicas (Marsh & Garnham, 1996 apud Bentley, 1996). Por outro lado, o estabelecimento de uma estratégia de amostragem e eventual monitoramento pode otimizar a quantidade de análises e racionalizar os custos.

Quanto às técnicas de tratamento de áreas contaminadas por resíduos, essas podem ser grosso modo classificadas nos seguintes tipos:

- **Químicas:** como a oxidação *in situ*, mudança de pH, visando transformar as substâncias nocivas em substâncias menos tóxicas e ou menos solúveis, mediante uso de reatores *in situ* e barreiras ativas, por exemplo.
- **Físicas:** compreendem técnicas como a lavagem do solo (mistura de solventes aquosos ou orgânicos ao solo, em reatores, para a remoção de substâncias aderidas às partículas finas do solo, tais como hidrocarbonetos, pesticidas, cianetos, metais pesados, etc.) e tratamentos térmicos para remoção (incineração, volatilização e pirólise) ou para inertização do poluente plasma, vitrificação). No entanto, a remoção e o aterramento ainda são as técnicas mais freqüentes na remediação de locais de disposição de resíduos.



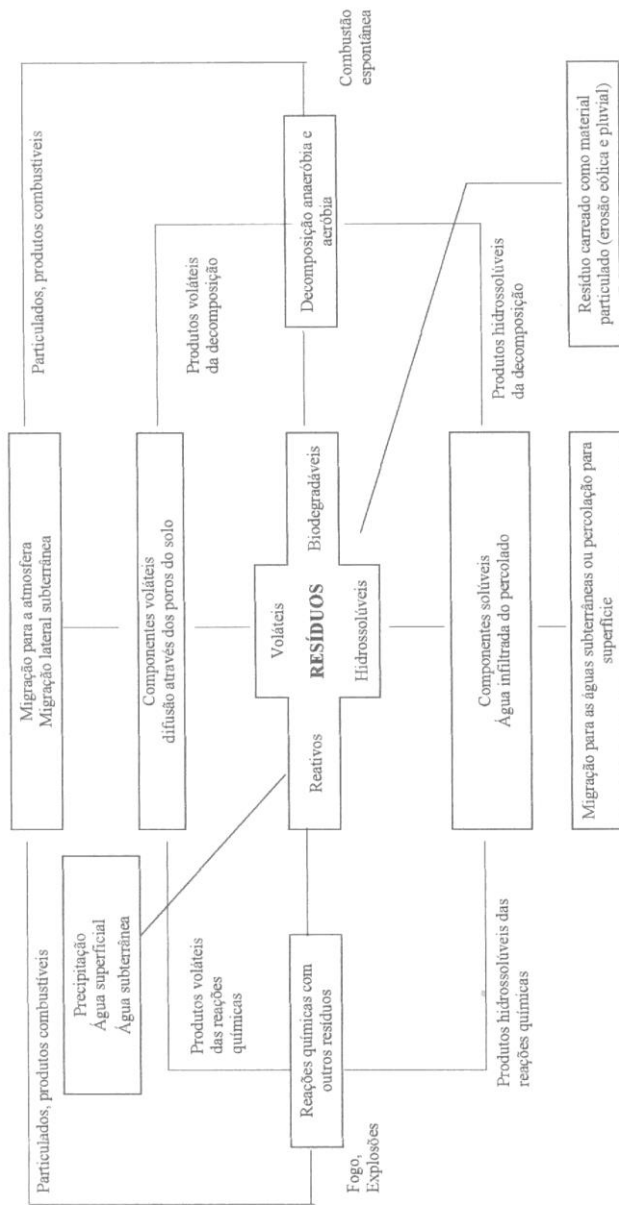


Figura 1 - Possíveis caminhos de migração de contaminantes em local de disposição de resíduos sólidos (USEPA, 1982).



- **Biológicas:** compreendem as técnicas da chamada biorremediação e envolvem a promoção de condições ótimas de umidade e temperatura de modo a intensificar o desenvolvimento de microrganismos tanto nativos como alóctones especialmente inseridos para a degradação de contaminantes específicos. Essas técnicas podem, ainda, ser aplicadas *in situ* ou *ex situ* (em leitos de irrigação do solo e reatores especialmente preparados).

A fase inicial do planejamento da remediação de uma área contaminada (USEPA, 1982) envolve as etapas discutidas a seguir.

#### **Etapas 1**

Envolve a compilação de informações acerca da contaminação das águas subterrâneas e superficiais, da biota e do solo. Poços para abastecimento humano e animal devem ser preliminarmente analisados para se detectar eventual contaminação, definindo ou não a existência de emergência sanitária.

#### **Etapas 2**

Nesta fase, há coleta de informações sobre os meios afetados, incluindo os seguintes aspectos:

- características do lixo: quantidade, composição química, inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade, patogenicidade, biodegradabilidade, radioatividade, solubilidade, volatilidade;
- clima: precipitação, temperatura e evapotranspiração;
- características de superfície: permeabilidade dos solos e do material de cobertura, umidade, declividade, vegetação;
- características de subsuperfície: profundidade do lençol freático, permeabilidade, profundidade do topo rochoso, direções de fluxo subterrâneo e pontos de descarga do aquífero;
- principais receptores: residências, instalações comerciais, áreas naturais, habitats críticos, áreas de cultivo (pomares, hortas, etc. ) e pesca; e
- condições de uso do solo local: determinação de condições necessárias à manutenção da segurança local, proteção de equipamentos, proteção do uso indevido do solo da área, etc.

Essa etapa geralmente é executada concomitantemente à etapa 3.

#### **Etapas 3**

Há a identificação, para cada meio afetado, do conjunto de medidas de remediação que poderá ser aplicado, de acordo com as características do local.

Essas técnicas, direta ou indiretamente, tratarão o meio contaminado, ou ainda, controlarão a propagação da contaminação exteriormente aos seus contornos atuais (controlando o transporte do poluente no meio afetado).

Os meios a serem analisados incluem a água superficial, a água subterrânea, o ar (tanto na atmosfera como nos poros do solo), o solo e sedimentos, os próprios resíduos, as redes de água e esgoto e a biota.

O teor de um composto químico qualquer liberado para o ambiente dependerá da quantidade disponibilizada e dos processos envolvidos em seu deslocamento (IPT, 1998):

- processos de transporte: tendem a distribuir o resíduo pelos meios citados anteriormente, dependendo da afinidade do composto por um desses compartimentos; e
- processos de transformação: ocorrem no interior de cada fase e alteram quimicamente o composto, diminuindo, não-alterando ou mesmo aumentando sua toxicidade.

Esses processos ocorrem a taxas específicas para cada contaminante e para cada compartimento ambiental. A soma desses processos e de suas interações determinarão o destino ambiental do contaminante e os seus possíveis impactos negativos à biota.

#### **Etapa 4**

Cada técnica deve ser avaliada e classificada em ordem relativa de prioridade para aplicação, de acordo com as condições de exequibilidade, efetividade e custos de aplicação. É conveniente a seleção de uma ou duas técnicas mais apropriadas.

#### **Etapa 5**

Há a formalização de um plano preliminar de medidas de remediação.

As ações definitivas somente serão implementadas após análises detalhadas dos impactos ambientais instalados, dos custos da remediação e da implementabilidade das medidas ante as condições e recursos disponíveis.

A elaboração de um Plano Preliminar para as Ações de Remediação também será útil para a antevisão de problemas quando da aplicação das medidas previstas e também para a familiarização das equipes (técnica, de fiscalização, etc.) com as opções das medidas de remediação e de suas vantagens e desvantagens intrínsecas.

Na Tabela 1 estão sumarizadas as técnicas mais usuais para a remediação de uma área de disposição de resíduos, considerando-se os vários meios afetados.

## **TRABALHOS EFETUADOS**

### **Observações gerais**

Visando orientar a formulação de diretrizes para sua remediação, a área foi avaliada para identificação dos principais impactos negativos do ponto de vista sanitário e ambiental, os quais se encontram sucintamente esquematizados na Figura 2.



Tabela 1 - Medidas para a recuperação de áreas de disposição de resíduos (EPA, 1982).

Técnicas de remediação	Meios afetados						
	Área superficial	Lençol freático	Ar (atmosfera + solo)	Solo e sedimento contaminados	Resíduos perigosos	Redes de água e esgoto	
Impermeabilização / capeamento superficial	xxxxx	xxxxx	xxxxx	xxxxx	xxxxx		
Nivelamento do terreno	xxxxx	xxxxx		xxxxx			
Vegetação	xxxxx	xxxxx		xxxxx			
Drenagem pluvial	xxxxx	xxxxx		xxxxx	xxxxx		
Bacias de infiltração	xxxxx						
Bacias de decantação / sedimentação	xxxxx						
Controle do percolado(1)	xxxxx	xxxxx		xxxxx			
Tratamento da água superficial contaminada	xxxxx						
Barreiras impermeáveis (2)		xxxxx			xxxxx		
Barreiras reativas		xxxxx					
Barreiras hidráulicas (bombeamento)		xxxxx			xxxxx		
Biorrecuperação		xxxxx					
Barreiras para gás			xxxxx				
Sistemas de ventilação induzida			xxxxx				
Sistemas de coleta e tratamento de gases			xxxxx				
Disposição de sedimentos dragados				xxxxx	xxxxx		
Técnicas de escavação subaquosa				xxxxx	xxxxx		
Escavação mecânica				xxxxx	xxxxx		
Aterro de resíduos					xxxxx		
Incineração					xxxxx		
Oxidação por vapor d'água					xxxxx		
Encapsulamento					xxxxx		
Lavagem do solo					xxxxx		
Solidificação in situ / ex situ					xxxxx		
Neutralização / detoxificação					xxxxx		
Raspagem, fluxagem, dragagem, sucção					xxxxx	xxxxx	
Deteção / reparo de vazamentos					xxxxx	xxxxx	
Remoção / substituição de redes de água					xxxxx	xxxxx	

(1) coleta, recirculação, tratamento

(2) cortinas de cimento, barreiras de argila compactada, paredes do tipo diafragma, paredes de geomembranas, paredes de estacas-prancha, cortinas de injeção



Na análise dos impactos, foram levados em conta três aspectos principais: as atividades necessárias à manutenção do local após o encerramento da vida útil do aterro, os impactos ambientais instalados e os impactos sobre a saúde pública.

### **Principais observações efetuadas**

Atualmente, a área do lixão encontra-se praticamente abandonada, não havendo medidas de manutenção ou de controle ambiental sendo executadas. Como consequência disso, vários impactos negativos se instalaram ou foram potencializados. Cabe enfatizar que, de acordo com as normas ambientais vigentes, o responsável pelos locais de deposição de resíduos sólidos (seja entidade pública ou privada) deve proceder o monitoramento ambiental e executar as ações de manutenção/remediação que se fizerem necessárias, até a completa estabilização do local, atendendo aos parâmetros de qualidade definidos pela Cetesb.

A porção frontal da vertente sudoeste do anfiteatro que contém o aterro já se encontra praticamente toda ocupada em sua porção de meia encosta. À medida em que se aproxima do aterro, e nas porções de sopé de encosta e proximidades de fundo vale, verifica-se a recente intensificação da ocupação, caracterizada pelo grande número de construções subnormais em execução e pelas obras de nivelamento (corte e aterro) e demarcação de terrenos. Na vertente oposta do anfiteatro, vertente nordeste, as residências são mais antigas e esparsas. A ocupação mais recente, de característica subnormal, está concentrada na porção de topo do morrote.

Mais que a ausência de estruturas de isolamento físico, a morosidade na definição do uso futuro da área tende a favorecer tal fluxo de ocupação.

A ausência de cercamento e de fiscalização, por sua parte, pode ensejar oportunidade de despejos clandestinos diversos no local, vindo a agravar ainda mais a situação atual. É conveniente lembrar que o local já recebeu resíduos industriais no passado e, apesar de atualmente ocorrer despejos clandestinos principalmente de entulhos de construção civil, ao longo da encosta leste do anfiteatro, também foram observados diversos tambores contendo produtos químicos dispostos na área, sem qualquer proteção (Fotos 3 e 4).

Além do município de São Bernardo do Campo, também o de Diadema tem promovido a deposição de entulho (material de maior densidade em relação ao lixo doméstico) na porção norte do depósito, ou seja, sobre o lixo antigo cuja condição de plasticidade, deve ter sido aumentada ao longo do seu processo de decomposição. Esse fato, somado às características de aterramento praticada (geometria inadequada, baixa compactação etc.) poderá propiciar a ocorrência de escorregamentos da massa de lixo depositada, vindo atingir residências ao longo do vale, além das demais implicações ambientais decorrentes.

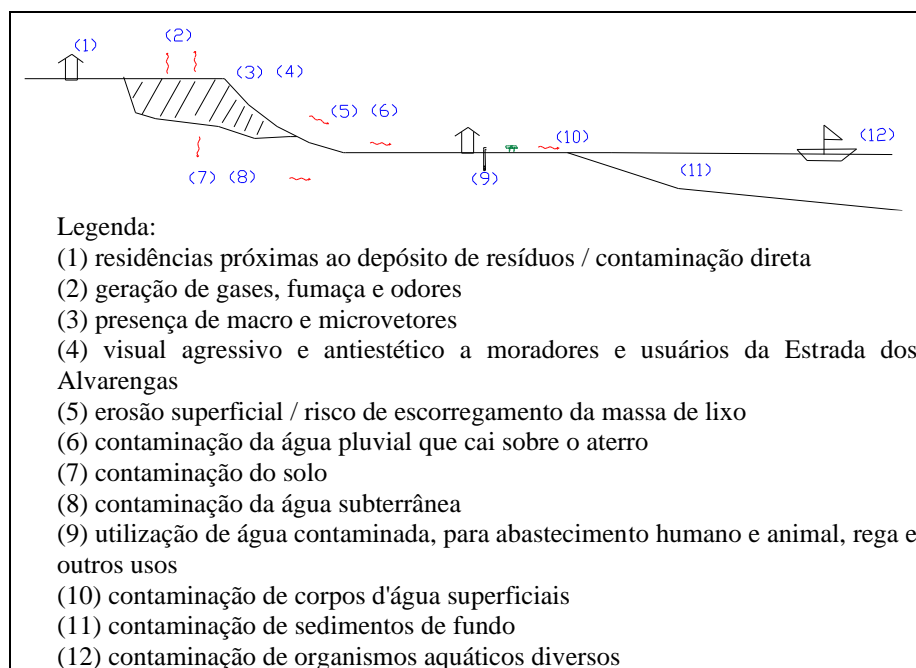


Figura 2 - Principais impactos negativos observados no lixão do Alvarenga - agosto/1998 (IPT, 1998).



Fotos 3 e 4 - Tambores contendo produtos químicos, dispostos no lixão do Alvarenga (Foto 3 = julho de 1997; Foto 4 = agosto de 1998).

Está ocorrendo contaminação das águas superficiais da represa Billings devido a não-existência de sistemas de drenagem, coleta e tratamento dos percolados gerados pela decomposição do lixo do aterro. Da encosta do aterro propriamente dito, tem origem um pequeno curso d'água que flui para a represa. Vistoria nesse corpo d'água constatou significativa contribuição de percolado proveniente do aterro (Fotos 5 e 6).

Embora restrita ao anfiteatro no qual os resíduos foram alojados, está ocorrendo a poluição das águas subterrâneas, devido à ausência de impermeabilização da base do aterro. A região de descarga do aquífero freático é a represa Billings.

O local é desprovido de cortina vegetal, provocando a degradação do aspecto estético e paisagístico do local. Esse fato é agravado porque o lixão foi construído em local elevado (encosta e topo de morrote), estando relativamente desprotegido da visão tanto dos moradores locais como dos que transitam pela Estrada dos Alvarengas.

Constatou-se a presença de microvetores (moscas, mosquitos, baratas) e de macrovetores (ratos, principalmente), decorrentes de falhas na cobertura do material depositado e das demais condições de manutenção da área.



Foto 5 - Chorume formando curso d'água imediatamente a jusante da vertente frontal sudeste do lixão do Alvarenga (agosto de 1998).



Foto 6 - Chorume proveniente do lixão do Alvarenga, juntando-se a córrego que deságua no reservatório Billings, a cerca de 50 m deste (julho de 1997)

Devido ao fato de a área permanecer abandonada após o encerramento das operações no local, constatou-se a instalação de usos do solo não adequados à circunvizinhança imediata de um aterro de resíduos (e mesmo impróprios ao uso urbano), sendo destacáveis os seguintes aspectos: utilização da vertente NE como local de pastagem de animais (cavalos, principalmente, e vacas - Foto 7) sobre área onde foi depositado lixo; na porção central da área, junto à margem direita do córrego que drena o anfiteatro onde o aterro foi instalado, existe um local para criação de porcos (pocilga). O proprietário também cria algumas cabras nesse local.

A instalação de residências subnormais cujos moradores atuam como recuperadores de materiais no aterro de Diadema (principalmente sucatas, plásticos e papelão); e utilização pelos moradores das habitações subnormais situadas na margem direita do córrego citado anteriormente, do solo local para cultivo de hortaliças.

Outro fato complicador é que além de os usos citados serem instalados sobre solo potencialmente contaminado, ocorrem em área não-servida pelo abastecimento público de água. Desse modo, muitos dos moradores dos arredores do aterro valem-se de poços rasos (cacimbas) para a captação de água subterrânea do aquífero freático, o qual



está em conexão direta com os percolados do aterro, situado algumas dezenas de metros a montante.

Os moradores vizinhos ao aterro queixam-se da geração de odores oriundos do aterro, impacto que é agravado sobretudo em períodos após a ocorrência de chuvas. Também foi informada a ocorrência de fortes odores quando da recente movimentação de solo sobre o local onde existe lixo antigo depositado (vertente NE, próxima ao agrupamento de residências subnormais, no denominado "Sítio Joaquina").

Outro aspecto observado é a fumaça resultante da constante queima de materiais diversos no local, promovida tanto pelos moradores locais como por particulares que se utilizam do local para descartar entulhos.

Constatou-se, ainda, que, esporadicamente, a lagoa do reservatório Billings, nas porções imediatamente a jusante do local de disposição, é utilizada para atividades de pesca. Devido a contaminação proveniente do aterro e do lançamento irregular do esgoto de origem domiciliar, os organismos aquáticos nessa porção da represa podem representar risco à saúde da população que os consomem.

Por fim, foram verificados diversos despejos de entulho e terra (solo), em locais de acentuada declividade (Foto 8).

### **Ensaio Geofísicos**

Os ensaios geofísicos de **eletrorresistividade e polarização induzida (IP)** foram executados em oito perfis, quatro aproximadamente perpendiculares (linhas 1, 2, 4 e 8) e quatro aproximadamente paralelos à drenagem local (linhas 00, 10, 20 e 30). Em todos os levantamentos foi utilizado intervalo de 5m como abertura entre eletrodos, sendo investigados cinco níveis teóricos, respectivamente correspondentes às profundidades máximas de  $n_1 = 5\text{m}$ ;  $n_2 = 7,5\text{m}$ ;  $n_3 = 10\text{m}$ ;  $n_4 = 12,5\text{m}$  e  $n_5 = 15\text{m}$ .

Os levantamentos de **potencial espontâneo (SP)** foram realizados nos mesmos pontos da malha regular de 5 m x 5 m, abrangendo toda a área onde foi possível coletar as medidas (houve dificuldades devido ao terreno alagadiço), fazendo o recobrimento de um polígono irregular de aproximadamente 4.000 m<sup>2</sup>. Nas investigações foi utilizado um eletrodo de referência fixo, de modo que todas as medidas são referidas a esse único ponto.



Foto 7 - Animais domésticos (vacas), utilizados em pequenas pastagens pelos moradores dos arredores do lixão (agosto de 1998).

Foto 8 - Descarte de terra e entulhos, em uma das vertentes do lixão do Alvarenga (agosto de 1998).

Os resultados foram obtidos na forma de pseudo-seções, mapas e blocos-diagramas de resistividade aparente; pseudo-seções, mapas e blocos-diagramas de cargabilidade aparente; e mapa e bloco-diagrama de potencial espontâneo.

Pode-se concluir daí que os valores mais baixos de resistividade aparente são correlacionáveis aos locais onde há maior concentração de poluentes e que, por sua vez, essa maior concentração é mais pronunciada nas porções mais próximas à superfície do terreno, diminuindo com a profundidade.

Um outro fato a ser considerado, é que os locais onde as resistividades são mais elevadas podem também refletir uma menor espessura de solo/rocha alterada, conseqüentemente onde o topo rochoso está mais próximo à superfície.

Segundo IPT (1998), observa-se, relativo ao levantamento de potencial espontâneo (SP), uma direção geral do fluxo no sentido do lixão para a represa. Também pode ser visualizado que existe uma direção preferencial de percolação das águas.

Com base nesses resultados, os locais mais favoráveis para a instalação de poços de monitoramento, tanto da migração dos contaminantes como das medidas de remediação a ser implementadas, são aqueles onde a resistividade aparente apresentou os menores valores relativos. Os poços mais adequados são os do tipo multiníveis para amostragem de água subterrânea do aquífero livre nas profundidades de amostragem de 2, 6 e 10 metros. Tais informações devem ser utilizadas para aperfeiçoar o modelo teórico da dispersão dos contaminantes no local.

#### **Condutividade hidráulica do solo**

A água move-se através do solo em resposta à diferença de energia (ou potencial) existente entre os vários pontos desse solo. A condutividade hidráulica e a capacidade de retenção de água no solo são propriedades que determinam o escoamento da água no solo.

O método de ensaio para determinação da condutividade hidráulica utilizado nesse trabalho é o da carga constante (Klute & Dirksen, 1986), baseado na aplicação

direta da equação de Darcy para uma coluna de solo com área de seção transversal uniforme. Ou seja, trata-se da determinação da condutividade hidráulica do meio considerado como isotrópico, sob condições de saturação completa e de fluxo em regime permanente.

Foram amostrados dois pontos, denominados T1 e T2, representativos do solo de alteração do xisto existente no substrato local, a litologia predominante na área analisada. O solo da área em análise apresenta o seguinte perfil característico:

- profundidade de 0 a 0,2 m: horizonte A;
- profundidade de 0,20 a 0,60 m: horizonte B;
- profundidade de 0,60 a 0,80 m: horizonte BC; e
- profundidade maior que 0,80 m: horizonte C.

O ponto T1 refere-se à porção de topo de morrote enquanto a amostra T2 foi coletada em posição de meia encosta. Ambas, porém, são representativas do horizonte C do solo. Em cada ponto foram coletadas cinco sub-amostras, na profundidade média de 1,5 m. Embora existam poucos dados, nota-se uma concentração de valores de condutividade hidráulica em torno de  $1,0 \times 10^{-3}$  e de  $6,0 \times 10^{-4}$ , com valor médio de  $8,6 \times 10^{-4}$ , ou seja representativo de condições de média permeabilidade, similar àqueles das areias finas siltsosas e argilosas (ABGE, 1996).

Outro aspecto a ser destacado quanto às amostras de solo analisadas é que o material apresentou expansividade, aumentando seu volume em torno de 10-15%, quando foi umedecido para a realização do ensaio de condutividade hidráulica.

## **CONSIDERAÇÕES PRELIMINARES PARA A REMEDIAÇÃO DO LIXÃO DO ALVARENGA**

A discussão aqui apresentada é de caráter preliminar e deverá ser complementada com informações adicionais para que se possa definir o conjunto final de medidas a implementar, de acordo com as especificidades locais (situação ambiental, capacidade de investimento e recursos humanos e materiais disponíveis). Para a seqüência dos trabalhos visando as atividades de remediação da área do lixão do Alvarenga, algumas ações passíveis de aplicação estão sumarizadas na Tabela 2 e detalhadas a seguir.

### **Geração de gás, odores e fumaça**

Após a disposição do lixo, os microorganismos nele presentes iniciam a decomposição desse material. Segundo Robinson (1986), a decomposição inicialmente ocorre em ambiente aeróbio. Após o oxigênio ser totalmente consumido, se inicia o segundo estágio da decomposição, ou seja, a decomposição em ambiente anaeróbio, que abrange dois sub-estágios.

No primeiro sub-estágio ocorre a quebra das moléculas maiores e mais complexas de matéria orgânica presente no lixo, gerando moléculas mais simples (incluindo hidrogênio, amônia, gás carbônico e ácidos orgânicos).

No segundo sub-estágio da decomposição anaeróbia, as bactérias presentes utilizam-se dos produtos gerados no primeiro sub-estágio da fase anaeróbia para formar metano e outros produtos.

A completa mineralização da matéria orgânica presente no lixo, com o conseqüente término da geração de chorume e gás, demanda tempo bastante variável para a sua conclusão. Fatores complexos, como a disponibilidade dos diversos compostos degradáveis e a manutenção de condições favoráveis ao crescimento e à atividade dos microorganismos decompositores, são as principais variáveis intervenientes nesse processo.

Assim, de acordo com a condição climática local e a maneira como o lixo foi disposto, serão gerados, em maior ou menor quantidade, percolato (contendo os ácidos orgânicos) e os gases metano e dióxido de carbono. A tendência natural desses subprodutos é a migração para o subsolo, no caso do percolato, e para a atmosfera, no caso dos gases, uma vez que no lixão do Alvarenga existem barreiras impermeabilizantes tanto basais quanto em superfície.

A remediação desses impactos - gases, odores e fumaça - pode ser obtida pelo capeamento superficial dos locais que receberam a deposição e a instalação de drenos de gás, acoplados a queimadores. No caso da queima provocada, a fiscalização no local tende a ser efetiva para eliminação.

#### **Estabilização da massa de lixo**

A estabilização da massa de lixo depositada envolverá dois aspectos diferenciados.

Um deles refere-se à minimização do surgimento de feições erosivas e pode ser obtida pela instalação de um adequado sistema de drenagem de águas pluviais (estruturas tanto de coleta como de dissipação). Tal sistema deverá ser projetado de modo a prevenir que as águas escoem sobre a massa de lixo, minimizando, portanto, a geração de percolato.

Tabela 2 - Medidas de remediação recomendadas para ser avaliadas para aplicação no lixão do Alvarenga (IPT, 1998).

Meio afetado	Impactos	Medidas de remediação/mitigação
Ar	geração de gases / odores	drenos de gás (sistema passivo) / queimadores
	geração de fumaça	capeamento superficial
	erosão	nivelamento do terreno / capeamento superficial / drenagem superficial
	risco de escorregamento	análise de estabilidade de taludes de lixo para definição das ações corretivas mais apropriadas
Lixo	disposição inadequada de entulho	disciplinamento da recepção e disposição / fiscalização
	visual antiestético	vegetação / cortina vegetal
Solo	contaminação do solo	capeamento superficial / drenagem superficial / remoção de moradias
	erosão de solo contaminado	capeamento superficial / drenagem superficial / vegetação
Água superficial	contaminação de curso d'água	cobertura do lixo / tratamento do percolado (lagoa de estabilização / wetland) / drenagem superficial
	contaminação da represa Billings	tratamento dos percolados do aterro
	contaminação da água subterrânea	cobertura do lixo / drenagem superficial / barreira impermeável a jusante do aterro / tratamento do percolado / drenos de gás / barreira hidráulica
Água subterrânea	utilização de água contaminada	orientações para não-utilização / remoção de moradias / fornecimento de água potável / fechamento de poços rasos
	microvetores	controle sanitário de animais sinantrópicos / capeamento
Biota	macrovetores	cercamento da área / fiscalização
	contaminação de organismos aquáticos	tratamento dos percolados do aterro e sedimentos de fundo / orientações aos usuários

O segundo aspecto refere-se aos taludes de inertes que estão sendo formados pela operação de aterro do município de Diadema. O contínuo alteamento do depósito sobre material parcialmente decomposto, exige urgente análise das suas condições de estabilidade, uma vez que há residências a jusante do aterro, na vertente situada no município de São Bernardo do Campo, que potencialmente poderão ser atingidas, caso haja algum escorregamento maior.

#### **Estruturas para isolamento do local**

O perímetro da área do aterro deverá ser cercado, preferencialmente com a utilização de tela metálica ou, opcionalmente, com arame farpado. O local deverá ainda, contar com portão com cadeado e fiscalização constante no local. Com isso ter-se-á condições de eliminar o risco de despejo clandestinos (entulho e outros) e controlar o acesso de pessoas não-autorizadas.

Outra providência necessária é a instalação de cortina vegetal no perímetro da área, minimizando o visual agressivo para moradores e transeuntes.

#### **Controle de animais sinantrópicos**

O lixo exposto, por constituir-se em uma forma de alimento, propicia o incremento da população de insetos (mosquitos, baratas e moscas, principalmente) e de roedores (ratos, ratazana e camundongos), potencialmente transmissores de doenças.

Assim, antes do início das obras maiores no lixão, serão necessárias medidas de combate a esses animais (Viadana, 1996). No entanto, o combate inadequado poderá resultar em dois inconvenientes sérios:

- fuga de insetos e de roedores para as regiões circunvizinhas (invadindo regiões habitadas); e
- surgimento de população resistente às medidas aplicadas (pela inadequada seleção e ou deficiente aplicação de inseticidas e de raticidas).

Desse modo, para o planejamento e execução das atividades de controle é imprescindível a orientação de especialistas do Centro de Controle de Zoonoses, a quem caberá a identificação dos insetos e dos roedores presentes e a definição dos elementos de controle a aplicar.

Posteriormente, a execução e manutenção das obras de capeamento superficial dos materiais depositados será importante medida para a mitigação desse impacto.

#### **Contaminação do solo e águas subterrânea e superficiais**

As ações necessárias à proteção do solo e das águas subterrâneas e superficiais estão estreitamente interligadas.

As ações necessárias abrangem inicialmente a instalação de capeamento superficial e de sistemas de drenagem das águas pluviais, visando minimizar o volume de água que entra em contato e percola pela massa de lixo.

A instalação de vegetação deve ser somada às ações anteriores. As espécies mais aptas são aquelas que, ao mesmo tempo, sejam apropriadas ao uso futuro do local, tenham pequena penetração radicular e possuam alta capacidade de evapotranspiração.

Considerando-se que o lixão do Alvarenga não possui camada de impermeabilização basal, a coleta do percolato que se infiltrou no solo poderá ser

efetuada mediante a construção de sistemas de contenção (Tresoldi & Consoni, 1998). Dentre esses, aqueles que preliminarmente apresentam maior potencialidade de uso são os drenos e as barreiras impermeabilizantes.

Por se tratar de aquífero freático relativamente raso, os drenos e ou trincheiras drenantes, construídos transversalmente a direção de fluxo, são uma opção a se considerar. As barreiras impermeabilizantes de argila compactada também são eficazes para impedir a migração e aumentar a eficiência dos sistemas de coleta dos contaminantes, porém tem custo relativamente maior.

Uma vez coletado o percolado, deve-se proceder o seu tratamento antes que possa retorna-lo ao meio ambiente. Em uma primeira aproximação, pode-se cogitar que o seu tratamento *in situ* poderá ser efetuado com o emprego de um sistema de lagoas de estabilização em série. Os sistemas de lagoas de estabilização, quando bem projetados, construídos e operados, constituem-se num dos processos mais simples e eficazes de tratamento de efluentes, que pode ser também aplicado para o caso do percolado de aterros de resíduos.

Eventualmente, o sistema de lagoas poderá ser conjugado às seguintes opções:

- reator ou dispositivo que cumpra o papel de barreira reativa (reagentes químicos, microrganismos, carvão ativado, etc.), visando o tratamento de substâncias específicas contidas no percolado; e
- processo de fito-depuração utilizando a porção alagadiça a jusante da área do aterro (*wetland*).
- A definição e o dimensionamento do sistema de tratamento mais adequado para tratamento do percolado oriundo do lixão do Alvarenga dependerá de investigações específicas. Todavia, essa medida é essencial, face a atual situação observada no local, ou seja, com o percolado fluindo *in natura* para a represa Billings;

#### **Uso do solo na área do aterro**

Nesse aspecto, duas abordagens são necessárias. A primeira delas diz respeito à existência de habitações em áreas que se confundem com o próprio aterro de resíduos. O segundo aspecto se relaciona com a necessidade de definição de um uso futuro para a área.

Para sanar os problemas relacionados aos usos não-conforme com uma área de aterro, são necessárias as seguintes ações:

- remoção de residências situadas na posição de fundo do vale, junto ao córrego que corta o anfiteatro;
- fornecer água potável às demais residências da circunvizinhança que se utilizam de água subterrânea (para uso geral e dessedentação humana e animal);
- promover o fechamento dos poços rasos a jusante e num raio de 200 m nas encostas laterais do vale que contém o aterro;
- efetuar campanha de esclarecimento à população quanto aos riscos de utilização de água subterrânea captada de poços rasos situados nas adjacências do lixão do Alvarenga; e

- efetuar campanha de esclarecimento à população quanto aos riscos de utilização de organismos aquáticos provenientes da represa Billings nas imediações do lixão do Alvarenga.

Quanto ao uso futuro do local, o projeto de recuperação do lixão do Alvarenga deve prever a sua incorporação ao uso urbano do município, de modo a impedir a sua ocupação desordenada.

Na incorporação do local recuperado do lixão, os planejadores devem avaliar as necessidades municipais e utilizar o futuro local para atividades de lazer (parque público, sobretudo devido às condições topográficas da área), apoio aos serviços da prefeitura (viveiro de mudas, almoxarifado, etc.), ou outra utilização de uso não-contínuo, preferencialmente ao ar livre e com o usuário ali não permanecendo por períodos muito extensos. Eventuais parcerias com a iniciativa privada devem ser analisadas.

Eventualmente a PMSBC deverá desapropriar áreas contíguas, para melhor adequação do projeto e maior proteção à população circunvizinha.

## CONCLUSÕES

As informações coletadas, sua análise e interpretação permitiram as conclusões gerais, apresentadas a seguir, acerca do lixão do Alvarenga. Enfatiza-se, no entanto, que a área investigada restringiu-se exclusivamente à vertente do aterro situada no território do município de São Bernardo do Campo:

- nos ensaios geofísicos realizados, foi alcançada boa definição na delimitação lateral das zonas de baixa cargabilidade e, principalmente, das de baixa resistividade. Desse modo, foi possível uma segura interpretação das prováveis regiões de maior contaminação no subsolo da área analisada;
- a poluição varia inversamente proporcional ao aumento da profundidade. Portanto, predomina a migração dos contaminantes através dos horizontes mais superiores do subsolo, em profundidades menores que 7,5 m;
- como subproduto dos ensaios geofísicos efetuados, confirmou-se que a direção geral dos fluxos das águas subterrâneas no local é de norte para sul, ou seja, do lixão para a represa;
- as zonas preferenciais de percolação da contaminação estão localizadas na porção oeste do anfiteatro, margem direita do córrego sem-denominação ali existente;
- as porções com maior intensidade de contaminação são melhor correlacionáveis àquelas apresentando valores mais baixos de resistividade aparente;
- nos locais onde os valores de cargabilidade e, com maior evidência, os de resistividade são mais elevados, a espessura de solo/rocha alterada é menor, refletindo uma maior proximidade do topo rochoso à superfície;
- os locais onde foram detectados baixos valores de resistividade são os mais indicados para que se proceda a amostragem de águas subterrâneas do aquífero livre, tanto para efeito de caracterização como para monitoramento;



- os ensaios de condutividade hidráulica realizados em amostras não-deformadas de solos da área mostraram valores de permeabilidade medianamente elevados, insuficientes para a contenção do percolado oriundo do aterro de resíduos sem impermeabilização de base;
- a ocupação irregular nos entornos da área do aterro já é significativa e apresenta tendência de rápida evolução, exigindo rápida intervenção da PMSBC, tanto para impedir a ocupação como para remover aquelas habitações instaladas em áreas que impliquem risco à população;
- parte da população que irregularmente ocupa os entornos do lixão do Alvarenga vem utilizando água contaminada (captada de poços rasos) para usos em dessedentação humana e animal, higiene pessoal, rega, etc.;
- a represa Billings está sendo contaminada pelo chorume oriundo do aterro do Alvarenga. A conexão aterro - represa está estabelecida tanto pelas águas superficiais (via córrego que deságua na represa) como por subsuperfície (via aquífero freático cujo região de descarga também é a represa); e
- das medidas preliminarmente analisadas para a remediação do lixão do Alvarenga, deve-se implementar de imediato as medidas não-estruturais, que normalmente demandam menos recursos e são de mais rápida implementação. As intervenções estruturais, embora devam ter seus estudos de projeto iniciados de imediato, demandarão avaliações mais detalhadas, inclusive avaliações de custo/benefício, exigindo prazos um pouco maiores para sua implementação.

## RECOMENDAÇÕES

Nos trabalhos subseqüentes, recomenda-se que a remediação do lixão do Alvarenga seja fundamentada nos conceitos de análise de risco (conforme exposto no item 4.4.1), obtendo-se as informações necessárias à avaliação segura se as concentrações de contaminantes presentes (nas águas subterrâneas e superficiais, na biota e no solo) constituem ou não um risco para os vários receptores e quais as medidas de remediação necessárias.

À luz dos atuais conhecimentos disponíveis sobre a área, propõe-se o detalhamento do seguinte elenco de medidas ("Plano Preliminar para as Ações de Remediação do Aterro Alvarenga"):

- implementar fiscalização do local (coibir ocupação e descargas clandestinas);
- fornecer orientações para não-utilização de água de poços rasos e animais aquáticos da represa nas imediações do aterro;
- promover o fechamento dos poços rasos a jusante e num raio de 200 m nas encostas laterais do vale que contém o aterro;
- fornecer água potável à população atingida (preferencialmente via sistema tradicional de abastecimento público);
- definir estratégia de uso futuro da área;
- complementar o levantamento planialtimétrico de toda a área do aterro;

- proceder análise de estabilidade de taludes de lixo no aterro;
- remover moradias situadas sobre áreas contaminadas e proceder as desapropriações eventualmente necessárias;
- proceder cercamento da área;
- efetuar controle sanitário de animais sinantrópicos na área do aterro e adjacências;
- instalar drenos de gás (sistema passivo) e queimadores;
- proceder nivelamento da superfície do terreno (evitando erosão e empoçamento de água);
- proceder capeamento do lixo;
- instalar sistema de drenagem superficial (coleta e dissipação);
- instalar vegetação sobre a área do aterro e entornos, observando orientações específicas para cada local;
- efetuar detalhamento hidrogeológico que permita definir com maior precisão as características físicas e hidráulicas do aquífero afetado pelo lixão;
- definir projeto para instalação do sistema de coleta de percolado migrando pelo subsolo a jusante do aterro (barreira impermeável, trincheira drenante, etc.);
- efetuar detalhada caracterização do chorume gerado no aterro, com vista a identificação de eventuais contaminantes perigosos oriundos dos resíduos industriais depositados no local.
- a partir das informações obtidas, proceder a análise custo / benefício das opções disponíveis para tratamento do chorume e definir o projeto para o sistema de tratamento do percolado (lagoa de estabilização, wetland, etc.);
- efetuar avaliação da contaminação dos sedimentos de fundo da represa Billings nas imediações do aterro e das medidas eventualmente necessárias;
- instalar cortina vegetal no perímetro do aterro; e
- disciplinar disposição de entulho na região do aterro.

Recomenda-se adicionalmente à Prefeitura do Município de São Bernardo do Campo que alocue equipe técnica especialmente dedicada às atividades de planejamento das ações de remediação do lixão do Alvarenga. Tal equipe estaria encarregada, entre outras, das atividades de detalhamento do plano de trabalho ("Plano de Ações de Remediação do Aterro Alvarenga"), obtenção de recursos para custear as atividades previstas, coordenação das atividades técnicas e fiscalização da implementação das demais ações necessárias.

#### **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

ABGE - Associação Brasileira de Geologia de Engenharia. 1996. Ensaio de permeabilidade em solos: orientação para sua execução no campo. São Paulo: ABGE. 18pp. (3ª edição)

- BERNARDES, JR., C., Plascak, G. M. S., D'Ambrosio, J. A., Domingos, F.J. 1986. Avaliação do impacto ambiental provocado por locais de disposição de resíduos sólidos. São Paulo: Cetesb. 28 pp.
- DAEE - Departamento de Águas e Energia Elétrica. 1975. Estudo de águas subterrâneas: região administrativa 1 Grande São Paulo. São Paulo: DAEE. 2v.
- IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. 1998. Caracterização da contaminação de solo e água em área localizada no Distrito de Samaritá, município de São Vicente, SP. São Paulo: IPT. (IPT. Parecer 7 189).
- IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. 1996. Subsídios técnicos às atividades de Acompanhamento do Termo de Compromissos N<sup>o</sup>205/94-MP-PJCS-CMA. São Paulo: IPT. (IPT. Relatório 33 867)
- IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. 1998. Análise dos estudos de projeto do aterro sanitário Tiradentes e diagnóstico do meio físico em área pertencente ao Lixão do Alvarenga, Município de São Bernardo do Campo, SP. São Paulo: IPT. (IPT. Parecer 7 231)
- KLUTE, A. & Dirksen, A. 1996. Methods of soil analysis. Part 1: physical and mineralogical methods. Madison, Wisconsin, USA. ASA/SSSA.
- MARSH, A.H. & Garnham, A., 1996. Investigation, hazard assessment and remediation of existing landfills. In: BENTLEY, S. P. (ed.). 1996. Engineering geology of waste disposal. Geological Society Engineering Geology Special Publication N<sup>o</sup> 11, pp. 3-7.
- PACHECO, A., Espíndola, R.S., Batello, E.R. Mendes, J.M.B., Dehanini, J. 1994. A problemática do lixo urbano na região metropolitana de São Paulo - o lixão do Alvarenga e as águas subterrâneas. In: 2<sup>o</sup> Congresso Latino-americano de Hidrologia Subterrânea. Santiago: .pp.127-140.
- ROBINSON, W.D. (ed.) 1986. The solid waste handbook; a practical guide. New York: John Wiley & Sons. pp. 264-265.
- snm - Secretaria dos Negócios Metropolitanos; EMPLASA - Empresa Metropolitana de Planejamento da Grande São Paulo; IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. 1986. Cartografia geotécnica aplicada ao planejamento na Grande São Paulo: carta de aptidão física ao assentamento urbano, escala 1: 50.000. São Paulo: Emplasa / IPT. Folhas São Paulo (SF.23-Y-C-VI-2) e Riacho Grande (SF.23-Y-C-VI-4).
- SIMMONS, E. 1998. An unsolved problem. *Wastes Management*, p. 16-17. (May)
- EPA - Environmental Protection Agency. 1982. Handbook: remedial action at waste disposal sites. 497p. (USEPA Report N<sup>o</sup> EPA-625/6-82-006)
- Viadana, R. H. C. 1996. Impactos do lixão no meio ambiente: meios físico, biológico e antrópico. IN: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia, Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. 1996. Disposição de resíduos. São Paulo: IPT/ABGE. (Apostila de Curso).