

**AVANÇADOS METODOS DE CAMPO E DE MICROCOMPUTADORES  
PARA AVALIAÇÃO DE POLUIÇÃO DE AQUÍFEROS  
COM UMA APLICAÇÃO NO LIXÃO DE NOVO HORIZONTE - SÃO PAULO**

Tereza C.B. Cleary<sup>1</sup> e Robert W. Cleary<sup>2</sup>

**RESUMO**

Na investigação da poluição de aquíferos tem-se ultimamente optado pelos métodos avançados. A diferença entre esses e os métodos clássicos reside na utilização de métodos e técnicas que envolvem, por exemplo, o uso de métodos geofísicos, análises específicas para orgânicos e inorgânicos, dados tridimensionais e tratamento dos dados com programas de microcomputadores. Os custos com o projeto podem-se elevar, mas ganha-se com a maior acuidade nos dados obtidos.

A discussão desses métodos e técnicas, bem como uma aplicação no lixão de Novo Horizonte-SP são apresentadas neste trabalho.

**INTRODUÇÃO**

A utilização de áreas para aterros ou lixões domésticos nos municípios é indispensável. Frequentemente ocorre a impossibilidade de atenderem-se aos critérios exigidos pelos órgãos ambientais para a escolha dessa área e para a disposição adequada do lixo produzido e coletado. Como consequência, o risco de poluírem-se as águas subterrâneas aumenta consideravelmente.

No Brasil, aterros domésticos geralmente são projetados sem impermeabilização e drenagem para impedir o escape de chorume. Sob essas condições, se durante um determinado período (por exemplo, um mês) o balanço hídrico for positivo, chorume fatalmente vai ser produzido e a água subterrânea a jusante do local de deposição do lixo vai sofrer contaminação.

Em São Paulo, onde chove bastante, a produção de chorume é garantida e todos os aterros de desenhos tradicionais sofrem contaminação por chorume. A pluma de poluição a jusante desses aterros pode ser definida através de avançados métodos de campo que incluem multinível mini-piezômetros e a aplicação de eletromagnetometria por indução, entre outras. Depois, os dados podem ser manuseados e plotados usando pacotes de softwares e microcomputadores do tipo IBM-PC. Se for para descontaminar o aquífero há modelos que simulam essas hidrodinâmicas.

Este trabalho discutirá as técnicas mencionadas e apresentará uma aplicação no lixão de Novo Horizonte, interior de São Paulo.

**AVANÇADOS METODOS DE CAMPO**

Os métodos clássicos, intensamente usados na década passada, aproveitam poços municipais profundos e/ou residenciais já

---

<sup>1</sup>Aluna de mestrado do programa de Recursos Minerais e Hídricos do Instituto de Geociências da USP.

<sup>2</sup>Professor do Instituto de Geociências da USP e Pesquisador do CEPAS - Centro de Pesquisa de Água Subterrânea da USP.

existentes, muitas vezes sem conhecerem-se detalhes de suas construções, como tamanho e posição do filtro, profundidade penetrante do poço, existência de bidim ou pré-filtro, entre outros. A caracterização da pluma é feita em 1 ou 2 direções (chamado abordagem hidráulica onde é implícito que variações na vertical são negligíveis) ao contrário do que possibilitam os métodos avançados, onde aplica-se a técnica disponível no momento, de modo a extrair-se o máximo de informações para caracterizar plumas de poluição detalhadamente, com ênfase em três dimensões.

Nos métodos avançados a posição do filtro é importante porque reconhece-se que:

- a) a determinação das variações de carga hidráulica no sentido vertical permite a identificação de fluxos verticais em zonas de descarga, recarga ou de heterogeneidade na geologia.
- b) a determinação das variações químicas no sentido vertical (e não só horizontal) permite delinear-se o contorno da pluma de poluição na subsuperfície ou identificar-se a existência de fontes de poluição.

O tamanho do filtro é preferencialmente pequeno, evitando-se assim que nos poços de filtros longos (Figura 1): (McIlvride, W.A. e Rector, B.M., 1988)

- 1) a composição química da amostra do poço reflita a composição da água subterrânea da zona penetrada de maior transmissividade.
- 2) a água que entra o poço provenha não de toda a profundidade penetrada mas somente de zonas de maior carga hidráulica.

Quanto aos padrões analisados para água potável nos métodos clássicos, eram menos de 20, com um único padrão orgânico e somente 6 pesticidas, apesar de cerca de 40.000 orgânicos serem usados rotineiramente nos países industrializados. Como mostra a Tabela 1, a existência desses compostos de carbono estão presentes em plumas de poluição causadas por lixos não só industriais, mas também domésticos (Albaiges et al., 1986, como citado in Cleary, 1986).

Ácidos Carboxílicos	Fenóis	Bases/Neutros
1. Acético	18. Fenol	23. Alcool benzil
2. Propiônico	19. p-cresil	24. 2-Feniletanol
3. 1-Butírico	20. 2,6-Dimetilfenol	25. Terpineol
4. Butírico	21. 2,4-Dimetilfenol	26. Metilindol
5. Metilbutírico	22. C <sub>3</sub> -Fenóis	27. Dimetil talate
6. Valérico		28. Metiloxíndol
7. Metilvalérico		29. Nicotina
8. Hexanóico		
9. Metilhexanóico		
10. Heptanóico		
11. 2-etilhexanóico		
12. Octanóico		
13. Benzóico		
14. Fenilacético		
15. Palmítico		
16. Esteárico		

Tabela 1

Nos métodos avançados utiliza-se uma nova lista com 83 compostos químicos proposta pela EPA dos Estados Unidos (Environmental Protection Agency) que entra em vigor em 1989.

Há uma variedade enorme de aparelhos eletrônicos de cromatografia de gases, de espectrometria de massa e absorção atômica que analisam compostos orgânicos e inorgânicos específicos tanto in situ como em laboratório, como conta-se também com aparelhos para a medida de parâmetros como pH, condutividade específica, temperatura, TOC (carbono orgânico total) e TOX (orgânicos totais halogenados).

Pode haver uma elevação no custo de um programa de monitoramento que emprega equipamentos como os mencionados ou como amostradores que preservam a pressão da profundidade de amostra (e a variação é de 1 atm para cada 10m de coluna d'água, ou seja, nada desprezível), ou quando reduzem-se a percentagens mínimas as contaminações cruzadas entre poços através do uso de material mais inerte para o poço, amostradores e outros equipamentos; mas ganha-se na obtenção de dados mais acurados e de medidas de concentração a níveis de ppbs, o que muitas vezes é exigido no projeto.

Além disso a disponibilidade de programas para a interpretação dos dados e apresentação dos mesmos em forma gráfica, como alternativa para as entediosas e pouco elucidativas tabelas, permitiu o manuseio mais efetivo do potencialmente maior número de dados gerados pelos métodos avançados de campo. A rapidez do tratamento dos dados envolvendo o uso de microcomputadores conta com programas na área de estatística, química, geofísica, fluxo de água subterrânea, transporte de soluto, descontaminações e outras.

Nos métodos avançados de campo há duas maneiras de abordar-se a investigação da área em estudo: indireta e diretamente.

#### ABORDAGEM INDIRETA

A abordagem indireta utiliza a informação de dados pré-existent em relatórios, fotografias aéreas, fotografias com infravermelho e campanhas geofísicas com eletroressistividade, eletromagnetismo, magnetometria e radar em perfilagens de poços ou na superfície. É comum usar-se mais de um método geofísico associado com outro tipo de investigação direta ou indireta porque permite observar-se a coincidência dos dados naquele local (Figura 2).

Os dados coletados nessa primeira abordagem devem guiar o planejamento das etapas da abordagem direta, uma vez que fornecem características das condições geológicas e do tipo e posição da pluma, se já houver uma, que irão ser checadas.

#### ABORDAGEM DIRETA

A abordagem direta utiliza técnicas que permitem o contato direto com a subsuperfície, fornecendo dados concretos sobre o material existente nessa zona. As etapas que constituem essa abordagem devem ser seguidas evitando-se ao máximo qualquer alteração do meio em estudo.

#### Etapas da Abordagem Direta

1) Perfuração de poço - utilizando trado manual ou mecânico,

perfuradora rotativa, perfuradora percursiva, perfuradora rotopercursiva e/ou cone penetrômetro. Evitam-se as técnicas que introduzem material outro que não é do próprio local de perfuração (por exemplo, lama de perfuração, água importada para perfurar e equipamento sujo com material de outro local). De acordo com a vazão desejada, a bomba escolhida, o equipamento para amostragem, ou outro qualquer que vier a ser introduzido no poço, determina-se o diâmetro do poço. A caracterização do perfil geológico naquele local é feita através da descrição do solo retirado do poço. Deve-se conservar o material retirado, em amostras deformadas ou indeformadas, para análise química do mesmo, determinação de condutividade hidráulica ou análise granulométrica.

Para estudos em três dimensões utilizar, além de piezômetros, multiníveis (Figura 3). Na zona não saturada utilizar tensiômetros e lisímetros de sucção ou lisímetro de panela.

2) Instalação dos poços - utilizar material o mais inerte possível (aço inox, teflon, pvc ) quanto à interação (contaminação e corrosão, por exemplo) com a água ou gás que se deseja estudar.

3) Amostragem da água subterrânea, solo ou gás - a amostragem deve seguir a sequência sugerida abaixo (baseado e resumido de Arceneaux, 1988):

- a . escolha da lista de parâmetros a serem determinados, em função do programa ser de monitoramento ou ser de detecção, identificando-se e quantificando-se no último os compostos químicos existentes na área. No programa de monitoramento a seleção dos parâmetros baseia-se nos dados coletados na fase de detecção.
- b . a escolha do método de análise em geral é feita pelo próprio laboratório em função da amostra ser de solo, água ou gás, acuidade desejada para os resultados e parâmetros a serem determinados.
- c . para a coleta das amostras deve-se fixar:
  - cronograma
  - pontos d'água a serem amostrados
  - número de amostras/ponto d'água. Usar student's t-test ou o average replicate t-test.
- d . verificar a possibilidade do laboratório em aceitar as amostras naquele período de coleta.
- e . fazer medidas de nível da água subterrânea.
- f . esvaziar a água ou o ar estagnado no poço.
- g . descontaminar o material de coleta e armazenagem (geralmente já vem do laboratório descontaminado) lavando-os com água ou vapor com sabão livre de fosfato e enxaguar com água destilada. Lavar também com álcool enxagüante e água destilada se orgânicos forem ser analisados.
- h . frascos para armazenamento das amostras -os frascos para armazenamento das amostras deve ser de material inerte e resistente à ação destrutiva da amostra. Dependendo do composto a ser analisado, devem-se introduzir preservantes nos frascos, deve-se checar o volume necessário para a análise e o tempo máximo de espera para

			lixão-idem *
Detetizador autônomo	1	compostos químicos	local-idem *
			lixão-idem *
Cemitério	1	bactérias, vírus	local-idem *

Os resíduos sólidos coletados são despejados, desde 1978, na área licenciada para esse fim, onde na mesma época teve início a fase de instalação de uma usina piloto de compostagem pelo método natural, segundo convênio entre a Prefeitura de Novo Horizonte e a CETESB-NH.

Inicialmente o lixo retirado do caminhão coletor é conduzido através de uma esteira rolante para uma peneira mecânica. O material peneirado é disposto diretamente sobre o solo para que se dê o processo de compostagem. O retido é colocado em valas de fundo não impermeabilizado. A compactação é feita com trator. O chorume na área de peniramento é drenado por gravidade para um poço de coleta e bombeado depois para uma lagoa de infiltração nas proximidades das valas. Todas as operações são realizadas a céu aberto, sob influência direta das precipitações.

Há cerca de 8 anos os proprietários da chácara Estiva, a jusante do lixão, perceberam uma mudança no sabor e odor da água bombeada do poço junto à casa. Suas informações sobre o problema levaram, a partir de 1984, ao recebimento de água da SABESP. Esse órgão provê o abastecimento público da cidade, captando água do aquífero Botucatu, através de poço tubular profundo (600 m), e do rio Três Pontes.

#### - Geologia

A área do lixão de Novo Horizonte está implantada sobre os sedimentos da Formação Adamantina, Grupo Bauru.

Trata-se de um contexto geológico caracterizado por arenitos inconsolidados intercalados por lentes de argila arenosa.

Localmente o arenito é recoberto por um solo argiloso de coloração avermelhada contendo inúmeros canais de raízes mortas. O nível freático varia de zero (zonas de descarga - córrego e brejo) a sete metros de profundidade, no período de estiagem.

#### - Campanhas Geofísicas - Eletroressistividade

O pesquisador Prof. José Milton Benetti Mendes, do IG-USP, em dezembro de 1985, investigou a linha de frente da área do lixão e o cafezal da chácara Estiva, a jusante da área do lixão. O perfil I (Figura 4) mostra uma faixa de menor resistividade entre os pontos 7 e 23, tomada como sendo o contorno aproximado da pluma de poluição. Esta vai-se estreitando na direção sudeste, passando entre os pontos 13 e 20 do Perfil II. O poço poluído junto à casa da chácara está no caminho que a pluma tende a seguir. A faixa delimitada pela pluma parece ser estreita e de profundidade inferior a 10m. Adverte-se que, sendo o córrego abaixo do poço contaminado a zona de descarga natural do fluxo proveniente do lixão, a curto ou médio prazo este córrego também irá apresentar poluição. A interpretação dos caminhamentos elétricos mostram uma camada de 50 a 60 metros de

arenito sotopostos ao basalto.

#### - Eletromagnetometria por Indução (EMI)

Os pesquisadores Prof. John Greenhouse e Mark Monier-Williams, da Universidade de Waterloo, Canadá, em março de 1986, investigaram toda a área do lixão e da chácara Estiva com os aparelhos EM31 e EM34 com configurações de 10 e 20m. Duas linhas de medidas foram feitas com o EM34-40m a oeste da casa da chácara. Os resultados com os EM31 e EM34 (Figuras 5 e 6) são semelhantes àqueles obtidos com o eletroressistivímetro nos locais investigados com ambos os aparelhos. A pluma de poluição fornece valores medidos de condutividade que comprovam sua existência pelo menos até a frente da área do lixão. Os altos valores de condutividade encontrados no brejo sugerem ser este o local onde aflora a pluma, mas há possibilidade de o material do brejo ser o único responsável por esses dados.

#### - Levantamento Topográfico

O levantamento topográfico foi realizado pela CETESB-SP e os dados processados pelos programas GRID e TOPO do GOLDENSOFTWARE. (Figura 7)

#### **ABORDAGEM DIRETA**

Ao todo foram perfurados 4 grupos de 3 multiníveis utilizando-se trado manual, atingindo-se a profundidade máxima de 10m. A campanha de perfuração foi efetuada no período de estiagem, de modo que a profundidade dos poços fosse suficiente para garantir sempre uma lâmina d'água nos poços. Dada a homogeneidade da geologia na área, essas profundidades foram estabelecidas de forma a conservar uma distância de 2m entre cada filtro. A alternativa encontrada para o desmoronamento das paredes do poço perfurado que impedia a instalação dos três multiníveis ao mesmo tempo, foi colocar rapidamente o multinível mais profundo em um furo separado e os outros dois em outro furo perfurado a 15 cm de distância do primeiro. Por razões econômicas utilizaram-se canos de PVC, ranhurados com serrote na altura do filtro envolvidos com tela de silkscreen. A abertura do silkscreen foi escolhida de modo a não permitir a passagem dos grãos mais finos do perfil perfurado. Em torno do filtro foi disposta brita ou areia. Logo acima colocaram-se pelotas de bentonita, que ao expandirem-se com a água subterrânea selaram aquele nível de amostragem, e, acima destas, parte do solo que havia sido retirado do furo. Foi construída uma proteção de cimento para evitar que águas da superfície adentrassem o poço. A amostragem a cada 3 ou 4 meses era acompanhada de medidas de nível, pH e condutividade específica. As amostras devidamente refrigeradas eram transportadas para o laboratório da CETESB-SP para análise de inorgânicos específicos. Para o presente trabalho escolheu-se usar as concentrações de cloreto (de pontos d'água já existentes e dos multiníveis instalados nessa fase) para caracterizar a pluma de poluição (Figura 8). Outros bons índices de poluição são condutividade específica e carbono orgânico total. O mapa

potenciométrico da água subterrânea da área foi estimado com o auxílio do programa FLOWIADI desenvolvido por Kinzelbach, 1896. A superfície gerada por esses dados foi plotada com o programa TOPO (Figura 9), em caráter preliminar.

**AGRADECIMENTOS**

Gostaríamos de agradecer ao Prof. Dr. Aldo da Cunha Rebouças e a Rodrigo César de Araújo Cunha que idealizaram e celebraram o convênio entre CEPAS-USP e CETESB-SP, permitindo a mútua cooperação entre essas entidades no estudo do impacto do lixão e usina de Compostagem de Novo Horizonte-SP. Agradecemos também a ajuda dada no campo, instalando multiníveis, amostrando ou medindo parâmetros, pelas seguintes pessoas: Seiju Hassuda, Daniel Gomes, Elton Gloeden, Mazo, Luiz Paulo Poppi, Maria José e funcionários da CETESB-NH.

**REFERENCIAS**

CLEARY, R.W. et al. 1987. Groundwater Pollution and Hydrology. Short Course. Princeton Associates, January.  
 McILVRIDE, W.A., B.M. Rector. 1988. Comparison of Short-and Long-Screen Monitoring Wells in Alluvial Sediments. Proceedings of the Second National Outdoor Action Conference on Aquifer Restoration, Ground Water Monitoring and Geophysical Methods, v.1, pp. 375-390  
 ARCENAU, E. 1988. Practical Guide to the Design of Sampling and Analysis Programs. Proceedings of the Second National Outdoor Action Conference on Aquifer Restoration, Ground Water Monitoring and Geophysical Methods, v.1, pp. 515-524

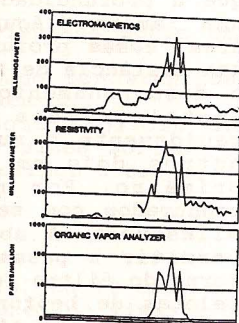
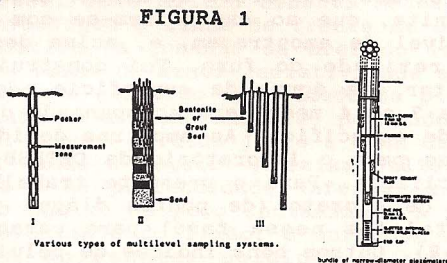
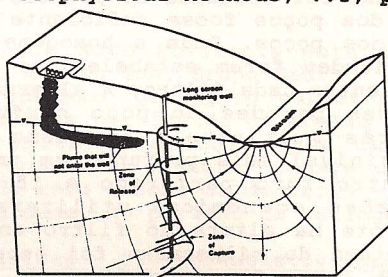
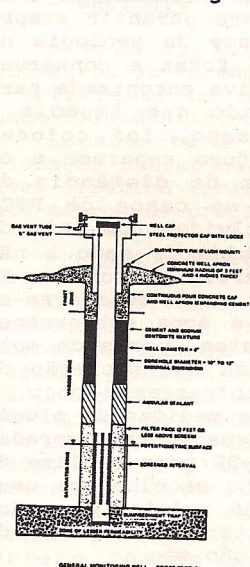


FIGURA 2  
 (Technos, Miami, Fla.)

FIGURA 3

(Gillham, Cherry, Univ. of Waterloo)

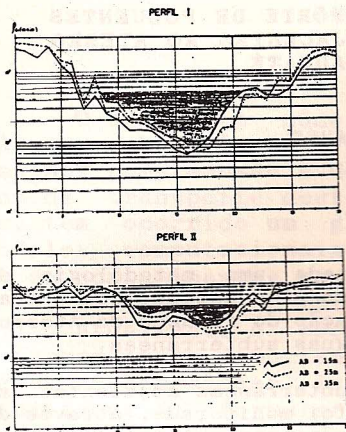
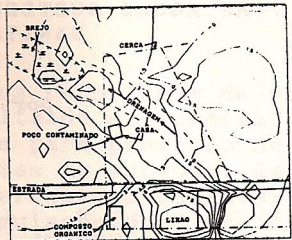
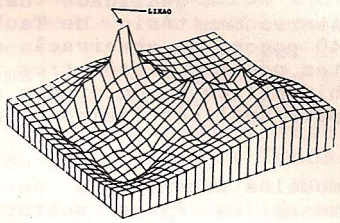


FIGURA 4



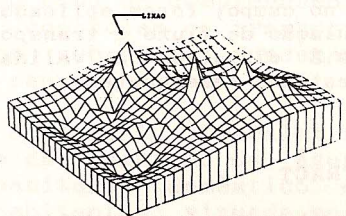
NHL - EM31 DATA (DB)

FIGURA 5



NHL - EM34-10H DATA (DB)

FIGURA 6



NHL - EM34-10V DATA (DB)

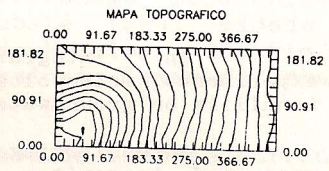


FIGURA 7

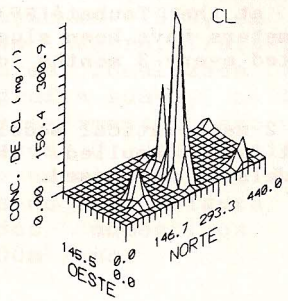


FIGURA 8

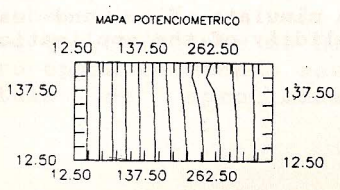


FIGURA 9