

CONTAMINAÇÃO DO AQUÍFERO LIVRE EM CEMITÉRIOS: ESTUDO DE CASO

Bolivar Antunes¹, Douglas Bastianon¹, Edson Batello¹, Alberto Pacheco¹, Vívian Pellizari², José Milton Mendes¹

Resumo - Estudos de investigação em um cemitério de São Paulo mostram que o aquífero livre encontra-se contaminado por microorganismos. Em alguns locais, o nível freático encontra-se próximo da superfície fazendo com que alguns corpos fiquem imersos nas águas subterrâneas. Sondagens elétricas, caminhamentos eletromagnéticos, furos de sondagem, coletas de amostras de solo e água para análises química, física e bacteriológica foram realizados. Um teste tipo “bail” foi executado para obter a condutividade hidráulica em torno do furo e para estimar o fluxo das águas subterrâneas.

Palavras-chave - Contaminação, águas subterrâneas, cemitérios.

INTRODUÇÃO

A localização e operação inadequadas de cemitérios em meios urbanos podem provocar a contaminação de mananciais hídricos por microorganismos. O aquífero livre é contaminado na área interna do cemitério e esta contaminação poderá se estender para regiões próximas, aumentando o risco de saúde nas pessoas que venham a utilizar desta água (Pacheco et al., 1991).

As doenças de veiculação hídrica mais comuns no Brasil são: hepatite A causada pelo vírus da hepatite A, febre tifóide causada pela *Salmonella typhi*, leptospirose

¹ Universidade de São Paulo, Instituto de Geociências, Departamento de Geologia Econômica e Geofísica Aplicada, Rua do Lago 562, 05508-900, São Paulo-SP, Fone: (011) 818.4250, Fax: (011) 818.4207, E-mail: bolivar@usp.br

² Universidade de São Paulo, Instituto de Ciências Biomédicas, Departamento de Microbiologia, Av. Prof. Lineu Prestes 1374, 05508-900, São Paulo-SP, Fone: (011) 818.7205, Fax: (011) 818.7354, E-mail: vhpelliz@biomed.icb2.usp.br

causada pela *Leptospira* e a cólera causada pelo *vibrio cholerae*. Em geral, estas doenças causam fortes distúrbios gastrointestinais, tais como vômitos, cólicas e diarreias.

Este artigo mostra resultados de trabalhos de investigação (sondagens elétricas e caminhamentos eletromagnéticas, determinação de parâmetros hidrodinâmicos, características físicas, químicas e bacteriológicas do aquífero) que estão sendo desenvolvidos no Cemitério Vila Nova Cachoeirinha na zona norte do município de São Paulo. Os trabalhos fazem parte de um projeto que estuda os fenômenos conservativos (saponificação e mumificação) em cemitérios, a extensão horizontal da contaminação por microorganismos, como eles são transportados nos aquíferos livres; e desenvolve um modelo de previsão do transporte de microorganismos em meios porosos.

DESCRIÇÃO DA ÁREA

O cemitério Vila Nova Cachoeirinha (Figura 1) fica localizado na zona norte do município de São Paulo (coordenadas 46° 40' 10" W e 23° 28' 40" S) e compreende uma área aproximada de 22.589 m². As cotas em relação ao nível do mar estão entre 735 e 792 m.

De acordo com a administração do cemitério, são realizados em torno de vinte sepultamentos por dia. A maior parte dos sepultamentos é realizada enterrando o caixão diretamente no solo (inumação). Os corpos são exumados após três anos da data de sepultamento e são levados ao ossário para que o túmulo seja reutilizado. Caso o corpo não esteja decomposto, caracterizando um estado de conservação (saponificação ou mumificação), este permanece no local por mais algum tempo até que o processo de decomposição seja efetivado.

Estes fenômenos conservativos são um risco potencial à contaminação das águas, visto que retardam o processo de decomposição do corpo que possui uma grande carga de microorganismos patogênicos, de sais minerais, e, muitas vezes, até de metais. Os fenômenos de conservação são provocados, no caso de mumificação, pela falta de umidade suficiente para desenvolvimento dos germes, e no caso de saponificação, pelo alto teor de umidade. Conforme a administração do cemitério, de cada 30 corpos exumados, sete estão em estado de conservação.

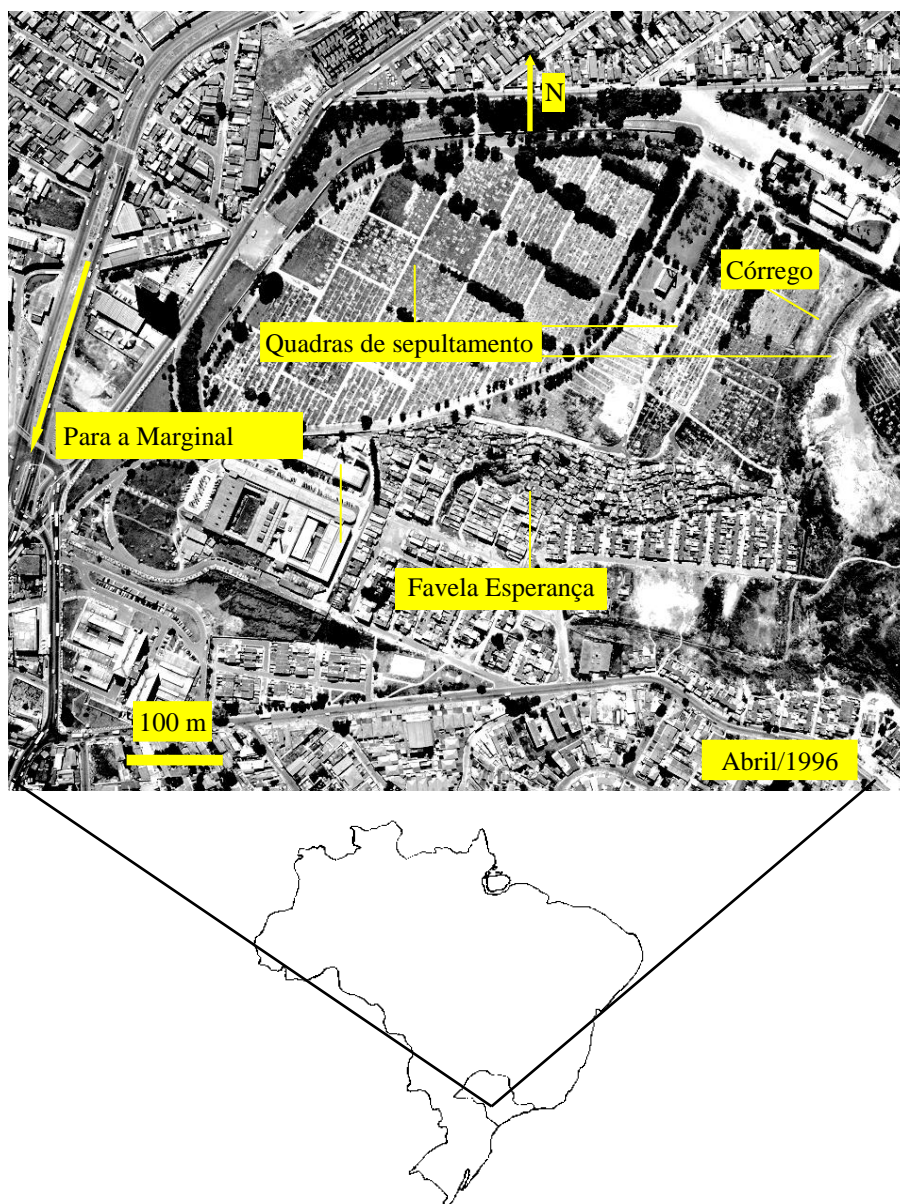


Figura 1 - Vista Aérea do Cemitério Vila Nova Cachoeirinha.

GEOLOGIA

O Cemitério Vila Nova Cachoeirinha está localizado no Maciço da Cantareira, em terrenos pré-cambrianos polideformados de evolução polifásica e policíclica pertencentes à Faixa São Roque e próximo aos limites da bacia sedimentar de São Paulo. Na área afloram rochas da suíte granitóide sin- a tardi-tectônica.

O Maciço da Cantareira é um corpo de forma aproximadamente triangular, alongado segundo a direção NE-SW. No maciço, predominam terrenos granodioríticos e monzograníticos, com variações subordinadas para os campos dos quartzos

monzodioritos, quartzo dioritos, tonalitos, quartzo monzonitos e sienogranitos (Dantas, 1990).

A origem da bacia sedimentar de São Paulo está ligada a eventos tectônicos. A reativação de antigas zonas de falhamento provocou o abaixamento de blocos e a conseqüente deposição dos materiais arenosos e argilo-siltosos que constituem os principais fácies sedimentares desta bacia. Os rios Tietê e Pinheiros entalharam os próprios sedimentos, na medida que venciam a soleira granítica de Barueri. Enquanto durou o processo de barragem tectônica dos rios, os sedimentos acumularam-se, devendo ter atingido perto de 300 m de espessura. O relevo atual é caracterizado por uma sucessão de colinas suaves e espigões com altitude média situada ao redor de 760 m. Os terrenos cristalinos situam-se mais altos que os terrenos sedimentares (Rebouças, 1980).

GEOFÍSICA

Sondagens elétricas verticais (SEV) e caminhamentos eletromagnéticos foram realizados na área de estudos para obter informações sobre a profundidade do nível de água e do embasamento e a presença de contaminação no aquífero livre.

As curvas de resistividade obtidas nas SEV sugerem que a profundidade do nível freático varia de alguns centímetros nas menores cotas até cinco metros nos locais mais elevados. Em um dos perfis, a presença de uma camada condutora próxima à superfície parece indicar a existência de aquífero suspenso, já que a camada condutora correspondente ao aquífero está em maior profundidade. A ocorrência de aquífero suspenso foi confirmada com sondagens realizadas no cemitério: furos abertos na mesma cota topográfica mostraram profundidades do nível de água à menos de 50 cm da superfície, enquanto outros estavam à mais de dois metros de profundidade.

As curvas de sondagem indicam que o topo rochoso é bastante irregular. Na porção leste do cemitério, o topo da rocha parece estar entre 32 e 45 metros de profundidade. Mais estudos devem ser realizados para a melhor definição destas profundidades. Mendes et al. (1989) realizaram 6 sondagens elétricas no extremo oeste do cemitério e verificaram que o embasamento é bastante irregular: a profundidade do topo da rocha fica entre 8 e 36 metros no local.

Os perfis eletromagnéticos foram executados com distância entre bobinas de 10 m, permitindo uma profundidade teórica de investigação de até 15 m. Pontos mais condutivos foram registrados em áreas de menores cotas refletindo a maior proximidade

do nível freático da superfície. Anomalias de condutividade foram observadas em locais de sepultamentos recentes (Figura 2) podendo indicar áreas contaminadas, já que outros pontos em mesmo perfil e mesma profundidade do nível freático não apresentaram valores tão expressivos.

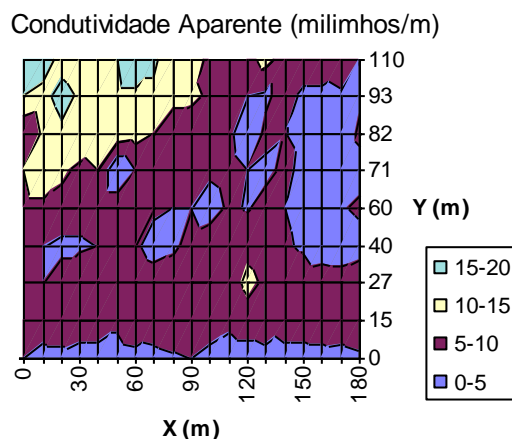


Figura 2 - Resultados de EM na porção leste do cemitério.

CARACTERIZAÇÃO HIDROGEOLÓGICA

A drenagem da área de estudos é bastante influenciada por agentes antrópicos. O escoamento das águas superficiais e subterrâneas tende para o Rio Cabuçu de Baixo que é um afluente do Rio Tietê. Um córrego que atravessa o cemitério é utilizado por famílias (Favela Esperança, Figura 1) como escoadouro do esgoto doméstico. Análises bacteriológicas do córrego à montante da favela mostraram altos índices de coliformes totais (>16.000 NMP/100 mL), fecais (>16.000 NMP/100 mL) e clostrídio sulfito redutor (230 NMP/100 mL).

O solo do cemitério é proveniente da alteração de granitos. Análises granulométricas de dezenove amostras de solos coletadas em furos de sondagens da área de estudos mostraram a predominância de texturas argilosa a média-argilosa (Figura 3). Resultados semelhantes foram observados em estudos de uma sondagem e testes de porosidade com lâminas de amostras indeformadas realizados nos primeiros 4 m de profundidade por Tôrres (1992a).

Proporção de Argila, Areia e Silte

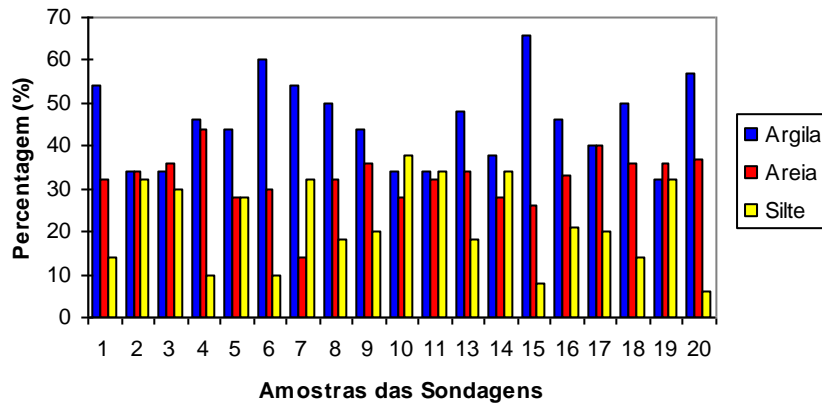


Figura 3 - Resultados das Análises Granulométricas.

Um teste tipo “bail” foi realizado em um dos furos das sondagens a fim de se determinar a condutividade hidráulica em torno do furo. Um volume de água foi retirado do aquífero freático através de um furo não revestido de 3” e a recuperação do nível de água dentro do furo foi monitorizada por 40 min. A curva de campo é apresentada na Figura 4. A condutividade hidráulica, K , foi determinada pelo Método de Hvorslev (1951) apud Domenico e Schwartz (1990, pg. 167):

$$K = \frac{r^2 \ln(L/r)}{2LT_o} \quad (1)$$

onde, r é o raio do furo, L é a espessura saturada do furo, e T_o é o tempo da curva de campo onde $h/h_o = 0,37$.

Teste Tipo "Bail"

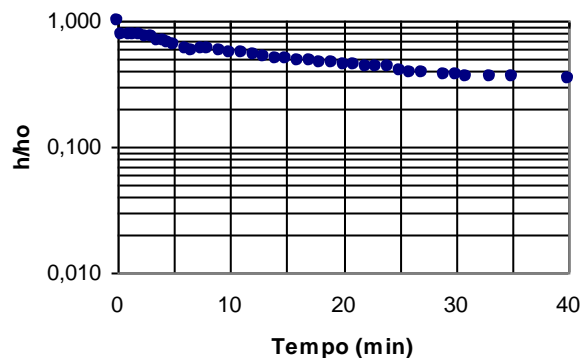


Figura 4 - Curva de Campo do Teste Tipo “Bail”.

Foi obtido um valor de condutividade hidráulica de $1,07E-6$ m/s. Não é possível afirmar que esta é a condutividade hidráulica do aquífero devido a heterogeneidades, anisotropias do meio e limitações do teste, porém o valor determinado de K é bastante razoável para o tipo de material (argiloso e médio-argiloso) encontrado nas sondagens realizadas no cemitério.

O fluxo das águas subterrâneas foi determinado para o gradiente hidráulico, dh/dL , observado entre dois furos (30 m/km), usando a Equação de Darcy:

$$v = K \frac{dh}{dL} \quad (2)$$

determinamos $v = 3E-8$ m/s. Este resultado contradiz, em parte, com o resultado obtido por Tôrres (1992b) que injetou cloreto de sódio em um poço de observação na área de estudos e mediu a condutividade elétrica em poços à jusante determinando o fluxo das águas subterrâneas em torno de 1 m/dia, que parece ser demasiado alto para o material argiloso encontrado em todo o cemitério.

As áreas de cotas menos elevadas do cemitério são mais vulneráveis à contaminação porque o nível freático está muito próximo ou até mesmo no nível da superfície. Alguns corpos estão muito próximos ou imersos nas águas subterrâneas, aumentando o risco de contaminação. Estas águas estão contaminadas por microorganismos, como mostram trabalhos anteriores (Pacheco, 1991; Martins, 1991). Uma amostra de água subterrânea foi coletada e apresentou baixo índice de indicadores de poluição fecal (coliformes totais e fecais), porém bactérias anaeróbias (clostrídios sulfito redutores) foram encontrados em maior número (900 NMP/100 mL), demonstrando uma provável contaminação oriunda das covas. Também foram encontrados altos números de bactérias lipolíticas e proteolíticas em amostras de solo podendo indicar a percolação do necro-chorume na zona não-saturada.

CONCLUSÃO

Estudos de investigação no Cemitério Vila Nova Cachoeirinha foram realizados com a finalidade de caracterizar o aquífero livre da área mencionada.

Sondagens elétricas foram aplicadas para determinar profundidades de topo e base do aquífero. Caminhamentos eletromagnéticos foram executados para indicar possíveis áreas contaminadas. Furos de sondagem foram feitos para determinar níveis de água, coletar amostras de solo e água para análise química, física e bacteriológica. Um teste tipo “bail” foi realizado para obter a condutividade hidráulica em torno do furo e para estimar o fluxo das águas subterrâneas.

Em alguns locais da área de estudo, o nível freático encontra-se muito próximo da superfície fazendo com que alguns corpos fiquem totalmente imersos nas águas subterrâneas e retardando o processo de decomposição dos corpos. A presença de aquíferos suspensos no local agrava a situação, já que os níveis de água destes aquíferos estão alguns centímetros abaixo da superfície ou aflorantes.

A qualidade das águas subterrâneas no Cemitério Vila Nova Cachoeirinha está comprometida devido à contaminação oriunda dos corpos em decomposição.

RECONHECIMENTOS

Este projeto tem o apoio da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP, Processos: 96/01250-3, 97/07511-6), do Centro de Pesquisas de Águas Subterrâneas e do Laboratório de Microbiologia Ambiental da Universidade de São Paulo, da Secretaria Municipal do Verde e do Meio Ambiente de São Paulo e do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq, Processo: 113476/95-7).

REFERÊNCIAS

- DANTAS, A. S. L. (1990). Geologia da faixa São Roque e intrusivas associadas na região entre São Paulo e Mairiporã, norte de São Paulo, SP. Dissertação de mestrado. Universidade de São Paulo, Instituto de Geociências, São Paulo, SP.
- DOMENICO, P. A., SCHWARTZ, F. W. (1990). Physical and chemical hydrogeology. New York, N.Y. John Wiley and Sons. 824 p.
- MARTINS, M. T., PELLIZARI, V. H., PACHECO, A., MYAKI, D. M., ADAMS, C., BOSSOLAN, N. R. S., MENDES, J. M. B., HASSUDA, S. (1991). Qualidade bacteriológica de águas subterrâneas em cemitérios. Revista de Saúde Pública, v 25, n. 1, p. 47-52.
- MENDES, J. M. B.; PACHECO, A. ; HASSUDA, S. (1989) Cemitérios e meio ambiente - a geofísica como método auxiliar na avaliação de sua influência nas águas

subterrâneas. Apud: ENCONTRO NACIONAL DE ESTUDOS SOBRE O MEIO AMBIENTE, 2, Florianópolis-SC, 1989. Anais. Florianópolis, UFSC, v. 1, p. 50-57.

PACHECO, A.; MENDES, J. M. B.; MARTINS, T.; HASSUDA, S.; KIMMELMANN, A. A. (1991) Cemeteries - a potential risk to groundwater. Water Science and Technology, v. 24, n. 11, p. 97-104.

REBOUÇAS, A. C. (1980) Aspectos hidrogeológicos no planejamento da ocupação urbana da Grande São Paulo. Apud: MESA REDONDA, ASPECTOS GEOLÓGICOS E GEOTECTÔNICOS DA BACIA SEDIMENTAR DE SÃO PAULO, São Paulo, 1980. Associação Brasileira de Geologia de Engenharia e Sociedade Brasileira de Geologia - Núcleo São Paulo, p. 129-138.

TÔRRES, S. L. (1992a) Relatório parcial. Iniciação científica. São Paulo, Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo, p. 1-33, (Processo 91/0360-6).

TÔRRES, S. L. (1992b) Relatório final. Iniciação científica. São Paulo, Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo, p. 1-32, (Processo 91/0360-6).