UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

CEMITÉRIOS COMO FONTE DE POLUIÇÃO EM AQÜÍFEROS. ESTUDO DO CEMITÉRIO VILA FORMOSA NA BACIA SEDIMENTAR DE SÃO PAULO

Renato Blat Migliorini

Orientadora: Profa. Dra. Annkarin Aurélia Kimmelmann e Silva

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Área de concentração: Recursos Minerais e Hidrogeologia

SÃO PAULO
1994

Universidade de São Paulo
Instituto de Geociências

Cemitérios como Fonte de Poluição em Aqüíferos.

Estudo do Cemitério Vila Formosa na Bacia Sedimentar de São Paulo

Renato Blat Migliorini

Orientador: Profa.Dra. Annkarin Aurélia Kimmelmann e Silva

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

COMISSÃO JULGADORA

	nome	ass.
Presidente:	Drª A.A.Kimmelmann e Silva	
Examinadores:	Dr. A.Pacheco	
	Dr. S.M.Branco	

SÃO PAULO
1994

Universidade de São Paulo
Instituto de Geociências

DEDALUS - Acervo - IGC
30900005202

Cemitérios como Fonte de Poluição em Aqüíferos.

Estudo do Cemitério Vila Formosa na Bacia Sedimentar de São Paulo

Renato Blat Migliorini

Orientador: Prof^{a}. Dr^{a}. Annkarin Aurélia Kimmelmann e Silva

Instituto de Geociências
BIBLIOTECA
t 1882
U. S. P.

Dissertação de Mestrado

Área de concentração: Recursos Minerais e Hidrogeologia
São Paulo
1994

ÍNDICE

Agradecimentos 05

Resumo 07

Abstract 09

1. Introdução 11

2. Objetivos 13

3. Revisão Bibliográfica dos Estudos Hidrogeológicos em Cemitérios 14

4. Problemática da construção de cemitérios em meio urbano 17

5. Revisão Bibliográfica dos Estudos Geológicos e Hidrogeológicos na Bacia Sedimentar de São Paulo. 19

   5.1. Introdução 19

   5.2. Histórico das Pesquisas da Bacia Sedimentar de São Paulo 19

   5.3. Geologia Regional 20

   5.4. A Bacia Sedimentar de São Paulo 20

   5.5. Hidrogeologia da Região de São Paulo 21

6. Área de Estudo: 25

   6.1. Localização e Vias de Acesso 25

   6.2. Geologia e Hidrogeologia Local 26

7. Caracterização Fisio-Climática do Município de São Paulo. 27

8. Estudos Geofísicos 29

9. Estudo Bacteriológico 32

10. Metodologia 34

10.1. Implantação dos poços de monitoramento 34

10.1.1. Critérios de locação 34

10.1.2. Construção dos poços de monitoramento 34

10.2. Técnica de coleta de amostra e monitoramento 36

10.3. Análise físico-química e química 37

11. Resultados 41

12. Discussão e interpretação dos resultados 59

13. Conclusões 63

14. Recomendações 64

15. Aspectos da Legislação 66

16. Bibliografia 67

Lista de Figuras 72

Lista de Tabelas 74

Anexo: Mapa da Localização dos poços de monitoramento no Cemitério Vila Formosa.

AGRADECIMENTOS

A realização deste trabalho foi possível devido ao auxílio e colaboração de várias pessoas e entidades, às quais o autor externa seus agradecimentos.

À Profa. Dra. Annkarin Aurélia Kimmelmann e Silva pela orientação do trabalho.

Ao Departamento de Geologia Econômica e Geofísica Aplicada do Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo, nas pessoas de seus chefes, Prof. Dr. Aldo da Cunha Rebouças e Prof. Dr. Nélson Ellert, por permitir a utilização da infra-estrutura do departamento.

Aos órgão que contribuiram através de financiamentos e fornecimento de bolsa de estudo: Centro de Pesquisas de Águas Subterrâneas (CEPAS) e Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).

Aos laboratórios que executaram as análises químicas das águas subterrâneas: Laboratório de Química Inorgânica do CEPAS, IGc-USP; Laboratório de Radio-Química e Química Analítica do Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA); Laboratório de Espectroscopia de Emissão Atômica do IQ-USP; e Laboratório de Química II do Departamento de Mineralogia e Petrologia do IGc-USP.

Aos professores Alberto Pacheco, Uriel Duarte, Aldo da Cunha Rebouças, Mária Szkszay, José Milton Benetti Mendes e Osmar Sinelli, pela disposição em esclarecer dúvidas e pelas sugestões pertinentes ao assunto.

Aos meus colegas e familiares Vera Lúcia Blat Migliorini, César Muniz, Maria da Anunciação Pinheiro Barros Neta e Iara Weissberg, pelas sugestões, trocas de idéias e ajuda nos trabalhos de computação.

Aos técnicos do CEPAS que me acompanharam e auxiliaram nos tragalhos de campo, José Carlos Camargo (*in memoriam*) e Antônio Alves da Silva.

Finalmente ao Instituto de Geociências, em especial aos professores e funcionários do Departamento de Geologia Econômica e Geofísica Aplicada e do CEPAS pelo incentivo constante e ótimo ambiente de trabalho.

RESUMO

Este trabalho constitui parte de um projeto maior que tem por objetivo estudar os impactos gerados pela localização de cemitérios em meio urbano, particularmente no que diz respeito às águas subterrâneas. Esta pesquisa corresponde à fase de monitoramento do Cemitério Vila Formosa, localizado na área metropolitana de São Paulo, o qual foi escolhido por ser o maior cemitério da América do Sul. Pesquisas paralelas já haviam comprovado a contaminação bacteriológica das águas subterrâneas deste cemitério. O objetivo específico deste trabalho foi investigar parâmetros indicadores de contaminação química das águas subterrâneas da área do Cemitério Vila Formosa. Para isso foram obtidas amostras de seis poços de monitoramento construídos na área do cemitério e de uma fonte localizada no seu interior. Os resultados das análises físico-químicas e químicas permitiram as seguintes conclusões:

1. A presença do cemitério contribuiu para elevar a concentração total de íons (sólidos totais dissolvidos) nas águas subterrâneas, sendo a fonte mais provável do cátion que mais se elevou (Ca^{2+}) a cal utilizada no cemitério;

2. As águas do Cemitério Vila Formosa apresentaram concentração excessiva de produtos nitrogenados (nitrato, nitrito e amônia), que têm sua origem mais provável no processo de decomposição dos corpos, ativado pela proliferação de microorganismos;

3. A presença do cemitério provocou o aparecimento dos seguintes metais: manganês, cromo, ferro, prata e alumínio, em níveis acima dos valores máximos permissíveis em águas utilizadas para consumo humano. Estes metais se originam provavelmente das tintas, vernizes e guarnições dos caixões.

São enfatizados no trabalho os riscos de saúde pública representados pela contaminação química das águas subterrâneas de áreas de cemitérios, especialmente pelos altos índices de produtos nitrogenados. São feitas recomendações sobre os critérios de ordem geológica e hidrogeológica que devem ser levados em conta quando da implantação de cemitérios. São ainda apresentados aspectos da incompleta legislação existente sobre o assunto.

ABSTRACT

The present study is part of a larger project designed to investigate the environmental impacts, in particular the potential risks for groundwaters, generated by the location of cemeteries in urban areas. This work describes the results of physicochemical analyses performed in groundwaters from the Vila Formosa Cemetery, situated in the metropolitan area of São Paulo, which is the largest cemetery of South America. Parallel analyses had already comproved bacteriological contamination of the waters of the water table in this cemetery. The specific aim of the study was to investigate parameters indicative of chemical contamination of groundwaters in the area of Vila Formosa cemetery. To this end periodical samples were obtained from six sampling wells implanted in the area of the cemetery and from a spring located in its interior.

From the results of the physicochemical and chemical analyses it was possible to conclude that:

1. The presence of the cemetery contributed to elevate the total concentrations of ions (total dissolved solids) in the groundwaters, the likeliest source of the cation which showed the greatest increase (Ca^{++}) being the lime utilized in the cemetery.

2. The groundwaters of the cemetery contained high concentrations of nitrogen compounds (nitrate, nitrite and ammonia), which probably originated from the process of decomposition of corpses, activated by the proliferation of microorganisms.

3. The presence of the cemetery was responsible for the appearance in the groundwaters of manganese, chromium, iron, silver and aluminum in amounts which exceeded the maximal permissible concentrations in waters destined for

human consumption. The most probable source of these metals was the paints, varnishes and garnitures of the coffins.

The data obtained in this study emphasize the danger to human health represented by the chemical contamination of groundwaters in areas of cemeteries, specially by the presence of high concentrations of nitrogen compounds. Geological and hydrogeological criteria that should be utilized for the establishment of cemeteries are recommended. Several aspects of the still incomplete legislation on this matter are also presented.

1. INTRODUÇÃO

Os cemitérios são fontes potenciais de impactos ambientais, principalmente quanto ao risco de contaminação das águas subterrâneas e superficiais por bactérias e vírus que proliferam durante os processos de decomposição dos corpos, além das substancias químicas liberadas . Esta água contaminada, por sua vez, freqüentemente acaba sendo utilizada pelas populações vizinhas às necrópoles.

A localização de cemitérios no território ocorre, preferencialmente, em áreas afastadas dos centros urbanos. Em cidades grandes como São Paulo, devido a um processo de urbanização intenso e descontrolado, hoje é comum encontrar cemitérios totalmente integrados à malha urbana, até mesmo em suas áreas mais centrais. Segundo OSTROWSKY (1989), os cemitérios dos Protestantes, da Consolação, do Hospital, na várzea do Tamanduateí, Colégio Delgado, e do Ipiranga, nos Campos Elíseos, construídos respectivamente em 1851, 1858, 1805, 1849 e 1875, não faziam parte, na época, da área urbana do Município de São Paulo.

Considerando que na construção da maioria destes cemitérios não foram levados em conta estudos geológicos e hidrogeológicos, os mesmos podem constituir-se em um alto potencial de risco de contaminação para as águas subterrâneas. É, portanto, surpreendente constatar-se ser muito pequeno o número de trabalhos publicados sobre o assunto, todos eles limitados à contaminação microbiológica (ver ítem 3, adiante).

Tendo em vista esta situação problemática, neste trabalho foi realizado um estudo hidroquímico das águas subterrâneas de um cemitério, através do monitoramento de suas caracteristicas fisico-químicas e químicas. Este estudo constitui parte de uma pesquisa maior, envolvendo a Prefeitura do Município de São Paulo e a Universidade de São Paulo, através do Centro de Pesquisas de Águas

Subterrâneas (CEPAS) do Instituto de Geociências (IGc), visando a cooperação técnica na área de hidrogeologia e geologia ambiental.

Para a referida pesquisa foram escolhidos três cemitérios com características geológicas distintas (Vila Formosa e Vila Nova Cachoeirinha no Município de São Paulo e Areia Branca em Santos). Deste três cemitérios foi escolhido o Cemitério Vila Formosa para o presente trabalho. Os fatores que motivaram esta escolha foram: ser êle o maior cemitério da Região Metropolitana de São Paulo, e um dos maiores do mundo, com uma área de 763.175 m^2, além de ter sido construído na Bacia Sedimentar de São Paulo, a qual abriga a maior parte da área urbana da Grande São Paulo, e tem grandes recursos de águas subterrâneas explorados por poços para abastecimento humano.

2. Objetivos

Os objetivos do presente trabalho foram os seguintes:

- Investigar, através de análises físico-químicas e químicas, parâmetros indicadores de contaminação química de águas subterrâneas de áreas de cemitérios localizados em meio urbano. A área de estudo escolhida foi o Cemitério Vila Formosa, localizado no Município de São Paulo;

- Interpretar os resultados obtidos levando em conta a geologia local e fatores ligados ao próprio cemitério, especialmente a presença de corpos em decomposição;

- Avaliar e discutir os resultados obtidos em termos dos riscos para a saúde pública e da legislação existente sobre o assunto;

- O trabalho também tem o objetivo mais geral de contribuir para o estudo dos fatores geológicos e hidrogeológicos que devem ser levados em consideração na implantação de cemitérios em regiões de clima subtropical úmido.

3. Revisão Bibliográfica dos Estudos Hidrogeológicos em Cemitérios

Não existem dados publicados sobre alterações das caracteristicas hidroquímicas de águas subterrâneas de cemitérios, que constituem o objetivo específico deste trabalho. Em publicação relativamente recente (KONEFES,1991) foi levantada a suspeita de que traços de arsênico, encontrados em águas subterrâneas da costa Este dos Estados Unidos em local próximo a um cemitério da época da guerra civil americana, fossem produtos da lixiviação de túmulos. Nesse período era prática comum uma técnica de embalsamento dos corpos (proibida apenas a partir de 1910) que utilizava cerca de um quilo e meio de arsênico por corpo. Segundo KONEFES (I991) estão sendo planejados estudos objetivando a comprovação da suspeita.

Na revisão feita a seguir, serão relatados os estudos realizados sobre a contaminação destas águas por microorganismos.

A contaminação microbiológica das águas subterrâneas constitui um sério problema de saúde pública, principalmente nos países em desenvolvimento. Esta contaminação pode ser produzida por bactérias, vírus e protozoários. Entre as bactérias, as do gênero *Salmonella* são as causadoras mais frequentes de doenças transmitidas pela água. De uma maneira geral, a maioria dos micróbios patogênicos encontrados em águas contaminadas provocam várias doenças, sendo comuns fortes distúrbios gastro-intestinais, tais como vômitos, cólicas e diarréias.

No que se refere ao caso específico de contaminação do lençol freático por cemitérios, embora os estudos a respeito sejam relativamente escassos existem alguns casos históricos. Assim, MULDER (1954), *in* BOWER (1978), registra que águas subterrâneas destinadas ao consumo humano estavam contaminadas por cemitérios nas proximidades de Berlim, no período de 1863 a 1867, com a

proliferação de febre tifóide. Menciona também a captação de águas subterrâneas mal cheirosas e de sabor adocicado nas proximidades de cemitérios de Paris, em especial em épocas quentes. Estudos de SCHROPS (1972), *in* BOWER (1978), realizados na Alemanha Ocidental em um cemitério localizado em terrenos de aluvião não consolidados, comprovaram a existência de contaminação bacteriológica, como se pode ver na Tabela 1, que apresenta os resultados obtidos nesse estudo em amostras de águas coletadas nas proximidades dos túmulos.

TABELA 1. Decaimento do número de bactérias com a distância.

No. de bactérias	Distância do túmulo
6.000	0,50 m
8.000	2,50 m
3.600	3,50 m
1.200	4,50 m
180	5,50 m

Observa-se na tabela que o número de bactérias diminui rapidamente com a distância dos túmulos, devido à capacidade do solo reter microorganismos.

Segundo PERSON (1979), higienistas franceses correlacionaram na França a endemia da febre tifóide com a localização das águas de abastecimento em localidades próximas a cemitérios.

Entre nós, o risco potencial de contaminação de águas subterrâneas por cemitérios tem sido investigado por PACHECO et al (1990, 1991). Nestes trabalhos o autor conclui que os cemitérios são um risco potencial para as águas subterrâneas, podendo se tornar um risco real, se na implantação destas construções, não forem levados em consideração estudos prévios de geologia e hidrogeologia. Realmente, os resultados obtidos por este pesquisador comprovam contaminação

bacteriológica das águas subterrâneas dos cemitérios Vila Formosa, Vila Nova Cachoeirinha e Areia Branca.

O risco maior ou menor de contaminação de águas subterrâneas por cemitérios depende de vários fatores geológicos e hidrogeológicos que serão discutidos a seguir.

4. Problemática da Construção de Cemitérios em Meio Urbano

Tendo em vista o risco de contaminação microbiológica, a construção de cemitérios em meio urbano deve levar em conta basicamente três fatores: a profundidade do nível d'água, a capacidade do solo reter microorganismos e a topografia.

Quanto mais superficial for o nível do lençol freático, maior será o risco de contaminação. Este fator é especialmente importante em regiões baixas, tais como várzeas, onde os níveis de água são geralmente rasos.

Com relação ao mecanismo de retenção de microorganismos pelo solo, os processos mais importantes são a filtração mecânica, a aeração e a adsorção. De uma maneira geral, numerosos estudos têm mostrado que o solo é extremamente atuante na retenção ou inativação de microorganismos patogênicos. Através do processo de filtração mecânica e da presença de um ambiente em geral hostil, um grande número de organismos são retidos. Os estudos mostram que esta retenção ocorre em distâncias relativamente curtas, muitas vezes em menos de três metros. Por outro lado, esta retenção rápida ocorre na zona não saturada, porém, ao atingirem a zona saturada, os microorganismos encontram condições mais favoráveis de mobilização e também de sobrevida. Em rochas fraturadas e em áreas cársticas, os microorganismos podem percorrer longas distâncias.

Com relação à topografia, as áreas com declividade acentuada causam graves problemas. Nas épocas de chuva, devido à intensa erosão, ocorre o arraste de material terrígeno, expondo as sepulturas à superfície do terreno.

Dentre os agentes infecciosos transmitidos pela água, os vírus representam um caso especial. São menores que as bactérias, contém material genético inserido

numa camada proteica, podendo sobreviver fora do hospedeiro, mas não podem se reproduzir fora deste.

Outro fator preocupante, com relação à construção de cemitérios em meio urbano, diz respeito ao problema do sepultamento de corpos que contraíram doenças contagiosas e também com corpos que foram tratados à base de elementos radioativos.

Um outro aspecto a ser considerado nas propriedades físicas do solo é a possibilidade de prevalecerem condições anaeróbicas em terrenos constituídos por materiais muito finos (silte e argila). Estas condições podem impedir a proliferação dos microorganismos responsaveis pelos processos de decomposição dos corpos.

5. Revisão Bibliográfica dos Estudos Geológicos e Hidrogeológicos da Bacia Sedimentar de São Paulo

5.1. Introdução

Na Bacia Sedimentar de São Paulo, região já exaustivamente estudada por diversos pesquisadores, a geologia encontra-se descrita em extensa bibliografia especializada, relacionada na bibliografia citada. Assim sendo, a exposição feita a seguir encontra-se bem resumida.

5.2. Histórico das Pesquisas da Bacia Sedimentar de São Paulo

Uma bibliografia completa sobre as pesquisas geológicas realizadas na Bacia Sedimentar de São Paulo, que se iniciaram com os irmãos ANDRADA entre 1803 e 1805, porém publicada muito mais tarde, em 1864, pode ser encontrada na cuidadosa revisão de LEINZ (1980).

Somando-se a esta bibliografia, é importante ainda destacar três encontros de especialistas da área, que resultaram em valiosos trabalhos. A Mesa Redonda *Aspectos Geológicos e Geotécnicos da Bacia Sedimentar de São Paulo*, promovida pela Associação Brasileira de Geologia de Engenharia e pela Sociedade Brasileira de Geologia (Núcleo São Paulo), de 19 a 21 de maio de 1980, realizada em São Paulo, SP, reúne os conhecimentos científicos da referida Bacia nos seus três grandes setores: A Geologia e Geomorfologia; A Geotecnia e Hidrogeologia; e o Planejamento da Ocupação Urbana. Em 1989, a Sociedade Brasileira de Geologia (Núcleo São Paulo) e o Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo promoveram um *Workshop* intitulado *Geologia da Bacia de São Paulo*, buscando reunir as atividades de pesquisa geológica realizadas na área. Três anos depois (de 8 a 10 de abril de 1992), com o objetivo de realizar um balanço sobre a

evolução do conhecimento geológico e geotécnico nos últimos anos, a Associação Brasileira de Geologia de Engenharia, a Sociedade Brasileira de Geologia (Núcleo São Paulo), somadas à Associação Brasileira de Águas Subterrâneas (ABAS) promovem o Seminário *Problemas Geológicos e Geotécnicos da Região Metropolitana de São Paulo*.

5.3. Geologia Regional

A Bacia de São Paulo é hoje classificada como uma das unidades que integram o *rift* Continental do Sudeste do Brasil - RCSB (RICCOMINI, 1989). Esta feição tectônica de idade cenozóica, foi anteriormente designada por ALMEIDA (1976) como Sistema de *Rifts* Continentais da Serra do Mar. O RCSB reúne mais nove bacias acomodadas em uma faixa de orientação geral ENE, entre as cidades de Curitiba, no Paraná e Barra de São João, no Estado do Rio de Janeiro, com extensão de aproximadamente 900 Km (MELO *et al*; RICCOMINI *et al*, 1992).

Estudos mais recentes de RICCOMINI procuram estabelecer as inter-relações entre a tectônica e a sedimentação no segmento do RCSB, que compreende as bacias de São Paulo, Taubaté, Rezende e Volta Redonda. Ainda segundo RICCOMINI *et al* (1992), a origem deste *rift* está relacionada à reativação normal de antigas zonas de cisalhamento no embasamento, ocorrida no Período Terciário (Eoceno - Oligoceno), resultante de esforços extensionais NNW-SSE, originado pelo basculamento termodinâmico da Bacia de Santos. A sedimentação, assim como o magnetismo ultrabásico ocorreram no Período Terciário (Oligoceno).

5.4. A Bacia Sedimentar de São Paulo

A Bacia de São Paulo, geomorfologicamente, faz parte do Planalto Paulistano (ALMEIDA, 1958), feição mais recente que a superfície do Japi, de extensão

regional e idade paleogênica. (ALMEIDA, 1964). O Planalto Paulistano compreende uma área em torno de 5.000 Km^2, com altitudes médias entre 715 e 900 metros, sendo seu relevo suave, composto por morros e espigões relativamente baixos. Sua drenagem flui para o Rio Tietê e seus afluentes (Pinheiros, Tamanduateí e seus tributários) a montante da soleira de Barueri na Serra de Itaqui (RICCOMINI *et al*, 1992).

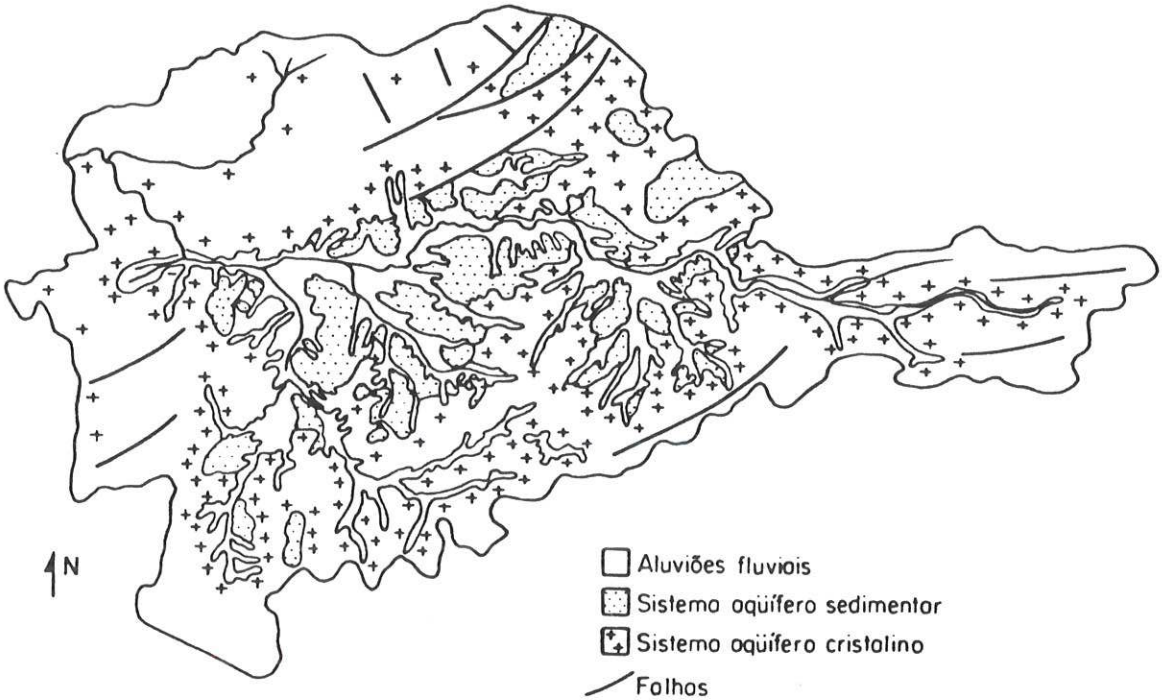
A distribuição dos sedimentos da Bacia Sedimentar de São Paulo é muito irregular, com pouco mais de 1.000 Km^2. Seus limites ao norte são retilíneos, dominados pela zona de cisalhamento Taxaquara-Jáguari, e ao sul seus limites são completamente irregulares, com embasamento cristalino. O maior eixo dos sedimentos, de extensão de 75 Km ocorre entre Arujá e Embú-Guaçu, enquanto que o menor, com cerca de 25 Km de extensão ocorre entre Santana e Santo André. A leste da bacia ocorrem pequenas ramificações em Mogi das Cruzes, Biritiba-Mirim e arredores de Salesópolis, e para o sul, até Engenheiro Marsillac. (HASUI & CARNEIRO, 1980; RICCOMINI *et al*, 1992).

A Bacia Sedimentar de São Paulo é um *hemi-graben*, com basculamento para NNW, sendo sua espessura máxima de sedimentos de 256 metros, segundo sondagem do DAEE realizadas no bairro da Mooca. (Takiya, 1991 *in* Riccomini *et al* 1992)

5.5. Hidrogeologia da Região de São Paulo

Para entendermos a hidrogeologia da região de São Paulo, é bom lembrarmos que esta possui natureza trafogênica continental. Teve sua origem no Período Terciário, com a reativação de antigas falhas que permitiram o abatimento do embasamento cristalino pré-cambriano e o preenchimento sedimentar desta bacia. Após esta fase, os rios Tietê, Pinheiros e Tamanduateí passaram a acumular os próprios sedimentos.

Deste contexto geológico são caracterizados dois sistemas aqüíferos principais: o Sistema Aqüífero Sedimentar e o Sistema Aqüífero Cristalino, representados na Fig.1:



Fonte: Carta Geológica da Região Metropolitana de São Paulo. Emplasa, 1980, 1:100.000.

FIGURA 1. Mapa hidrogeológico esquemático da região metropolitana de São Paulo.

O **Sistema Aqüífero Cristalino** é representado pelo conjunto de rochas pré-cambrianas pertencentes ao embasamento geológico (JULIANI, 1992). Estas rochas são representadas por uma ampla variedade de granitos, gnaisses, xistos, anfibolitos, milonitos e rochas metasedimentares, predominantemente pelito-psamíticos e, mais localmente, psefílicas e carbonáticas (COUTINHO, 1980). Neste aqüífero as águas subterrâneas encontram-se nas fraturas e/ou manto de alteração. A espessura média do manto de alteração é de 50 metros, com ampla variação de permeabilidade, de 10^{-6} m/s a 10^{-7} m/s na parte superior

(permeabilidade mais baixa) e de 10^{-3} m/s a 10^{-4} m/s na zona de transição entre a rocha alterada e a rocha sã fraturada (permeabilidade mais alta), estendendo-se em profundidade para as fraturas da rocha inalterada até centenas de metros (REBOUÇAS, 1992). As vazões variam entre 5 e 150 m^3/h com média de 7,7 m^3/h e capacidade específica de 0,02 até 20 $m^3/h/m$. (GIAMPA & SOUZA, 1984). As águas subterrâneas se comportam como aqüífero livre e semi-livre (REBOUÇAS, 1992).

O **Sistema Aqüífero Sedimentar** corresponde aos sedimentos terciários da Bacia de São Paulo. Devido ao pacote sedimentar ser muito heterogêneo, apresentando lentes ou camadas descontínuas de areia grossa, média e fina, intercaladas em corpos argilosos, o aqüífero se comporta como semi-confinado. A produtividade média por poço varia de 10 a 20 m^3/h (DAEE, 1975). Suas águas subterrâneas são de boa qualidade para o consumo humano, com índice de sólidos totais dissolvidos inferior a 500 mg/l, embora tenha concentração de ferro total em teor um pouco elevado, porém raramente ultrapassa 5 mg/l. (PARISOT, 1983) Sugere-se a ocorrência de super explorações locais da bacia, principalmente nos arredores de Belenzinho e Tatuapé (GIANCURSI & LOPES, 1980).

O número de poços em exploração no aqüífero sedimentar era estimado em 5.000 (DAEE, 1988), estima-se para 1992 o número de 7.000 poços tubulares em operação, extraindo o volume de 0,4 bilhões de m^3 por ano (REBOUÇAS, 1992). A espessura máxima de sedimentos está na ordem de 300 metros.

As estruturas geológicas e topográficas dos dois sistemas aqüíferos estabelecem que grande parte da água infiltrada no solo, como recarga, convergem para os rios que cortam a região e que o sistema aqüífero cristalino participa na recarga do sistema aqüífero sedimentar.

As reservas permanentes de água subterrâneas da Bacia do Alto Tietê são estimadas em cerca de doze bilhões de metros cúbicos, divididos em quatro

bilhões de metros cúbicos no Sistema Aqüífero Cristalino e oito bilhões de metros cúbicos no Sistema Aqüífero Sedimentar, beneficiando uma população de cerca de cinco milhões de pessoas, além dos poços domésticos para abastecimento familiar, beneficiando uma população estimada entre um e dois milhões de pessoas (REBOUÇAS, 1992).

6. Área de Estudo

6.1. Localização e Vias de Acesso

O Município de São Paulo localiza-se aproximadamente entre as coordenadas 46°40'W - 47°70'W e 23°S - 24°10'S. A área de estudo é o Cemitério Vila Formosa, que se encontra na Zona Leste do Município de São Paulo (Fig. 2).

FIGURA 2. Mapa de localização do Cemitério Vila Formosa.

Partindo-se do centro da cidade pela Av. 23 de maio, pega-se a Av. Radial Leste até o Bairro do Tatuapé. No Tatuapé, vira-se à direita na Av. Conselheiro Carrão, seguindo pela Av. 19 de janeiro, no fim desta à direita encontramos o cemitério. A Av. João XXIII, que cruza a Av. Rio das Pedras (continuação da Av. 19 de janeiro), contorna os limites do cemitério na direção sudoeste nordeste.

6.2 Geologia e Hidrogeologia Local

O Cemitério Vila Formosa está localizado na Zona Leste da Cidade de São Paulo. Geologicamente está situado em sedimentos terciários da Bacia Sedimentar de São Paulo, onde encontramos a predominância de argilas, siltes e areias finas, sendo rara a ocorrência de areias grossas e cascalho.

Dos estudos geofísicos realizados por MENDES (1989), a profundidade do pacote sedimentar no Cemitério Vila Formosa foi determinado entre 35 e 40 metros. A profundidade do nível d'água foi determinada entre 4 e 12 metros. Este comportamento irregular do nível d'água sugere a existência de aqüíferos suspensos e pode ser confirmado quando comparado com os níveis d'água dos poços de monitoramento. Estes oscilam de zero a 5,5 metros de profundidade, bem diferente do determinado pela Geofísica, confirmando a existência de aquíferos suspensos.Possivelmente um destes aqüíferos suspensos fornece água para uma fonte encontrada no interior do Cemitério Vila Formosa.

Na área de estudo, o sistema aqüífero é livre, podendo apresentar confinamentos locais, proporcionados pelas intercalações argilosas.

No interior do cemitério existe uma escavação, próxima ao poço de monitoramento número nove, no fundo de um vale, onde é visível o afloramento do nível d'água.

7. Caracterização Físio-Climática

- **Fisiografia**

A região do Município de São Paulo está localizada a sudeste do Planalto Atlântico Brasileiro, tendo sido designado por ALMEIDA (1958) como Planalto Paulistano.

Geomorfologicamente, suas áreas sedimentares apresentam um relevo suave, composto por uma topografia relativamente plana, rodeada por rochas pré-cambrianas, de topografia bem mais elevada e acidentada.

A área da Região Metropolitana de São Paulo encontra-se inserida na Bacia Sedimentar de São Paulo, sendo cercada, ao Norte pela Serra da Cantareira, ao Sul pela Serra do Mar, a Leste pela Serra de Itapevi e a Sudoeste pelos maciços de Itapecerica da Serra.

O Planalto Paulistano tem uma área de 5.000 Km^2, com altitude média em torno de 715 e 900 m. (RICCOMINI *et al*, 1992)

- **Hidrografia**

A drenagem da Bacia Hidrográfica de São Paulo é do tipo dendrítica, com suas águas fluindo para o Rio Tietê e seus afluentes, isto é, os rios Pinheiros, Tamanduateí e seus tributários. Esta bacia ocupa uma área de aproximadamente 5.720 Km^2. (REBOUÇAS, 1992)

• **Hidrologia**

O balanço hidrológico referente ao período de 1964 a 1975 e correspoondente ao domínio hidrográfico situado a montante de Itaquaquecetuba, com 1.460 Km^2, indica o seguinte: (DAEE, 1975)

- Pluviometria média de 1.520 mm/ano, com 20% de variabilidade, sendo que o período mais chuvoso vai de novembro a março.

- Evaporação real média de 940 mm/ano, com variabilidade de 20%.

- Descarga média de 840 m^3/ano ou 575 mm/ano, dividida da seguinte maneira:

.Escoamento de base: 520 Mm^3/ano (contribuição subterrânea)

.Escoamento superficial: 320 Mm^3/ano.

• **Clima**

O clima do Município de São Paulo pode ser classificado como tropical de altitude com verão moderado. A temperatura média anual é de 18^oC, sendo o meses de dezembro, janeiro fevereiro e março os mais quentes do ano, com média de 24^oC, apresentando temperaturas menores no mês de julho (DAEE, 1975).

8. Estudos Geofísicos

A locação dos poços de monitoramento foi orientada por estudos prévios de geofísica, realizados por MENDES (1989), através dos quais foi determinada a profundidade do nível d'água, a espessura do pacote sedimentar e principalmente a delimitação da pluma de contaminação que vai nos auxiliar na locação dos poços de amostragem. Os métodos utilizados nos estudos geofísicos (MENDES, 1989) foram resumidamente os seguintes:

Para a caracterização da profundidade do nível d'água e a espessura do pacote sedimentar foi utilizado o método da eletrorresistividade (sondagem elétrica). Para a locação dos poços de amostragem, foi utilizado o método eletromagnético indutivo (caminhamentos eletromagnéticos).

Para medir a resistividade empregou-se um equipamento que possui uma fonte transistorizada DC-DC, de 500 W, 1.000 V de saída, alimentada por uma bateria de 13 W (*TECTROL*, Ind. Brasileira, conversor DC-DC, modelo TDC 1000/12). Para realizar a leitura destas medidas, tanto em mA da intensidade de corrente, bem como em mV, das diferenças de potencial, foram empregados multímetros digitais *FLUKE*, de elevada impedância de entrada e resolução de 0,1 mA e 0,1 mV.

No método eletromagnético foram utilizados os seguintes equipamentos; EM-31 e EM-34, da *GEONICS LTD*, ambos fabricados em Mississalga, Ontário, Canadá.

As medidas geofísicas foram indicativas de anomalia de condutividade, características de mudanças localizadas, mostrando que o emprego dos métodos de eletrorresistividade e eletromegnético indutivo, são ferramentas úteis também para a verificação inicial de áreas de contaminação em águas subterrâneas de cemitérios.

As anomalias na condutividade não são devidas à presença de vírus ou bactérias, mas sim aos sais minerais e outras substâncias dissolvidas na água.

O mapeamento das anomalias permitiu um perfeito posicionamento dos poços de amostragem.

A localização das quatorze sondagens elétricas realizadas estão representadas na Fig 3. Foram feitos 3.900 metros de perfis de caminhamento eletromagnético, com as seguintes profundidades aproximadas: 3,0; 6,0; 7,5; 15,0 e 30,0 metros. Foi recoberto pelos perfis eletromagnéticos uma área de 36.000 m^2, com pontos de medidas distanciados de 10 metros (figura 3).

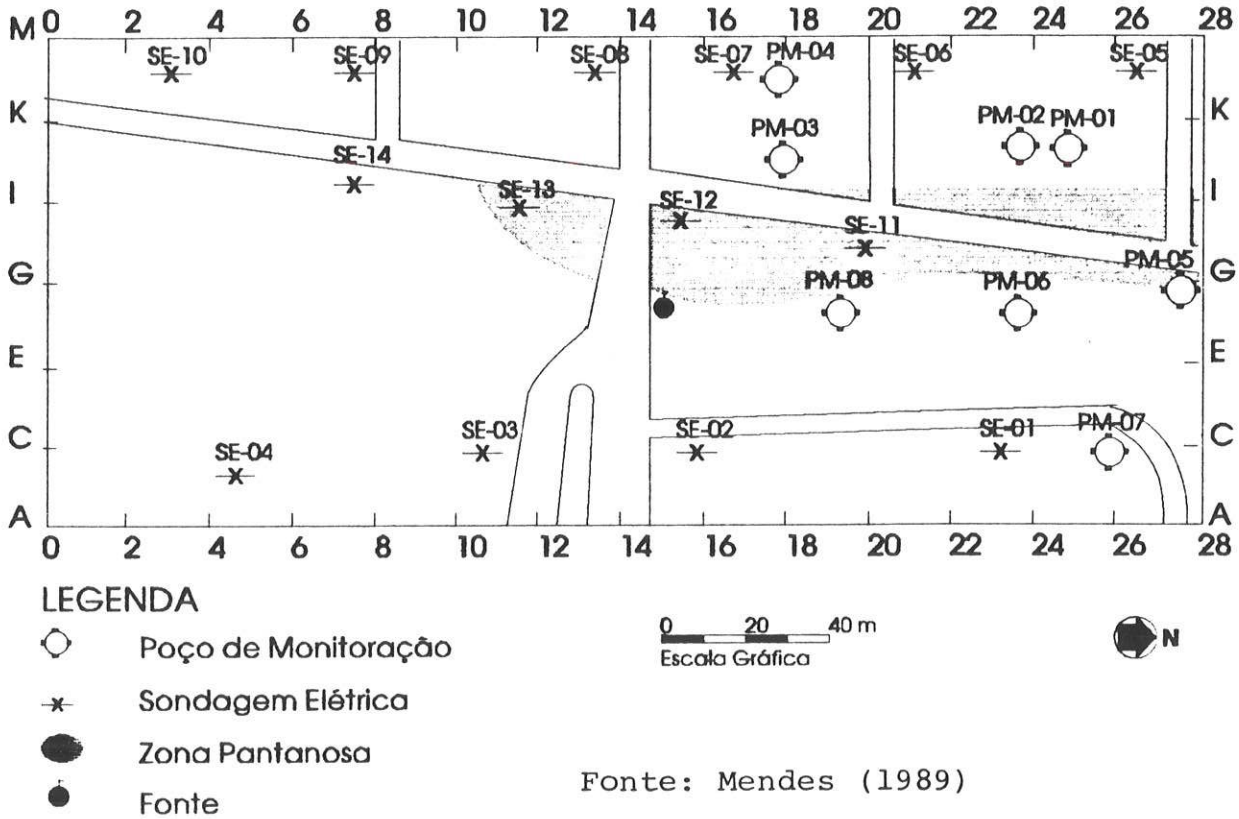


FIGURA 3. Área de investigação geofísica do Cemitério Vila Formosa.

A profundidade do nível d'água detectado pelas sondagens elétricas foi entre 4 e 12 metros aproximadamente. Este comportamento irregular sugere a existência de aqüífero suspenso na área compreendida pela sondagem.

A profundidade dos sedimentos da Bacia de São Paulo na área e conseqüentemente a profundidade do topo rochoso, foi determinada entre 35 e 40 metros, definindo assim a faixa vulnerável à ação dos agentes poluentes.

Os mapas de isocondutividade, elaborados a partir dos dados de caminhamento eletromagnético, evidenciaram áreas anômalas de condutividade que serviram para orientar a locação dos poços de amostragem.

9. Estudo Bacteriológico

Nos estudos de contaminação bacteriológica realizdos por PACHECO *et al* (1991) foram utilizados indicadores de contaminação fecal, de uma bactéria patogênica e contagens padrões de bactérias aeróbicas e anaeróbicas. As amostras foram semeadas em meios de cultura adequados para a realização dos seguintes testes bacteriológicos:

a) Técnica de múltiplos tubos para determinação de:

. coliformes totais (CT)

. coliformes fecais (CF)

. estreptococos fecais (SF)

. clostrídia redutora de sulfato (CRS)

. bactérias proteolíticas (PROT)

b) Contagens padrões de bactérias heterotróficas aeróbicas (CHP1) e de bactérias anaeróbicas (CHP2)

c) Estudo de salmonelas por técnicas padrões (CETESB)

d) Estudo de colifagos

e) Estudo de bactérias lipolíticas (LIPO)

As referências das técnicas específicas utilizadas para cada um dos estudos podem ser encontradas em PACHECO *et al* (1991).

As análises bacteriológicas foram feitas pelo Laboratório de Microbiologia Ambiental do Instituto de Ciências Biomédicas da USP.

Os resultados dos estudos bacteriológicos das amostras de água do Cemitério Vila Formosa , obtidos de PACHECO et *al* (1991), estão resumidos na Tabela 2.

Tabela 2: Análise bacteriológica de águas subterrâneas do Cemitério Vila Formosa

	MAX	MIN		MAX	MIN
CT	1 600	2	PROT	1 600	2
CF	300	2	CHP1	71×10^4	200
SF	1 600	2	CHP2	1 200	130
CRS	240	2	LIPO	1 500	75

O exame da tabela mostra que as condições higiênicas e sanitárias são consideradas insatisfatórias. No que se refere à salmonela, esta bactéria patogênica foi encontrada em apenas um dos poços de monitoramento. Quanto aos colifagos, que são vírus parasitas das bactérias do grupo coliforme, indicadores da presença de microorganismos patogênicos, não foram encontrados em nenhuma das amostras.

10. Metodologia

10.1 Implantação dos poços de monitoramento

• 10.1.1 Critérios de Locação

Com base na localização da pluma de contaminação e na profundidade do nível d'água, determinados pela geofísica, foi possível uma perfeita locação dos poços de monitoramento.

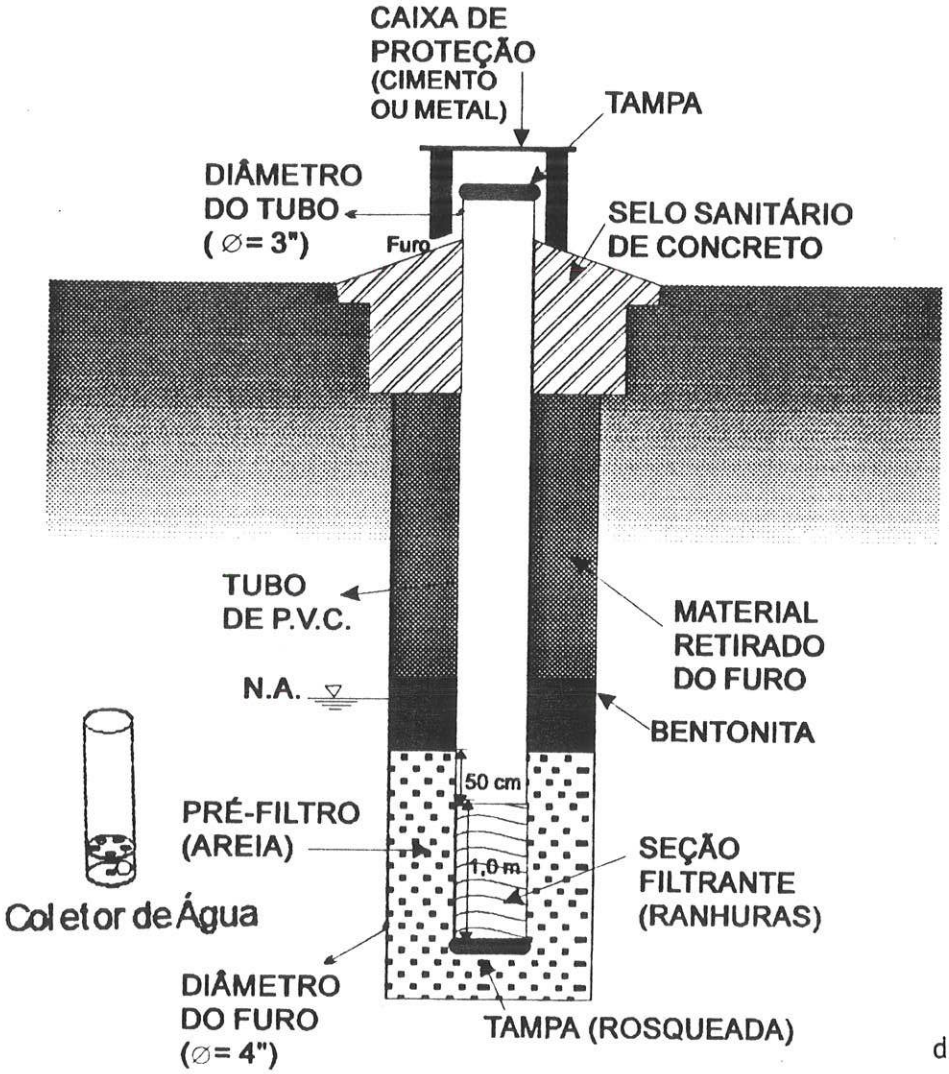
As finalidades dos poços de monitoramento foram: medir o nível d'água e coletar amostras de água do aqüífero para vários tipos de análise.

Inicialmente foram construídos nove poços de monitoramento, com as seguintes profundidades : PM 01, 3.0 m; PM 02, 3.10 m; PM 03. 3.5 m; PM 04, 6.85 m; PM 06, 2.80 m; PM 07, 3.25 m; PM 08, 2.90 m e PM 09, 1.5 m. Porém logo nas primeiras semanas os poços de número 1, 2 e 3 secaram, por não terem atingido a zona saturada, impossibilitando assim seu monitoramento. O fato desses poços terem sido produtivos nas primeiras semanas. e depois secarem, sugere sua passagem por aquíferos suspensos. A existêmcia desse tipo de aquífero já havia sido prevista pela geofísica. Com o objetivo de obter valores de controle (*background*) o poço de monitoramento 09 foi construido a grande distância dos demais poços, no extremo oeste do cemitério, na proximidades do muro que o separa das áreas circunvizinhas (ver Anexo: Mapa de localização dos poços de monitoramento do Cemitério Vila Formosa).Nos meses que precederam a construção dos poços de monitoramento amostras de água foram coletadas para análise de uma fonte localizada no interior do cemitério.

• 10.1.2 Construção dos Poços de Monitoramento

Os furos para construção dos poços de monitoramento foram executados com

trado manual de 4" de diâmetro. Os poços foram construídos com tubos de PVC com diâmetro de 3" e com ranhuras de aproximadamente 2 mm no último metro (seção filtrante). A seção filtrante foi envolta com tela de material inerte (nylon) para diminuir a infiltração de sedimentos. A extremidade inferior do tubo de PVC foi fechada com tampa de PVC rosqueada evitando o uso de cola, que poderia alterar a composição química da água. O espaço anelar entre o tubo de PVC e o furo foi preenchido com areia até 50 cm acima da seção filtrante, a qual vai fazer o papel de pré-filtro. Acima da areia introduziu-se bentonita para impedir a infiltração de águas superficiais. Acima da bentonita foi introduzido o próprio material retirado do furo. Por fim, foram feitos selos sanitários de concreto na superfície em volta da boca do poço. (Figura 4)



O poço foi desenvolvido por bombeamento. O bombeamento foi realizado com o mesmo coletor de água usado nas amostragens, o qual é constituído de ácido inoxidável e com uma válvula de retenção. (Figura 4).

FIGURA 4.
Esquema do poço de monitoramento

de monitoramento.

10.2 Técnica de Coleta de Amostras e Monitoramento

No dia anterior ao da amostragem era medido o nível d'água e os poços de monitoramento eram esgotados, para que a amostra de água fosse representativa. A freqüência da coleta abrangeu um período seco e um período chuvoso.

Durante as amostragens foram tomados cuidados com a preservação, armazenamento e transporte das amostras de água, afim de não provocar alterações na qualidade físico-química das mesmas. Com o intuito de preservar as amostras de ação biológica, hidrólise, volatização e adsorção, as amostras foram preservadas com adição de ácido nítrico, refrigeração e proteção contra luz. Cuidou-se também de não transferir a contaminação de um poço de monitoramento para outro. Desta maneira, após cada amostragem, o coletor de água era desinfetado com álcool e flambado.

Além do uso de luvas, evitou-se também que o equipamento entrasse em contato com o solo.

Os procedimentos de amostragem variam de acordo com o tipo de análise de água a ser realizado. Para a análise dos cátions e ânions foram coletadas amostras em frascos descartáveis de polietileno de um litro, e todas as amostras coletadas foram preservadas sob refrigeração em caixa de isopor com gelo (temperatura de 4°C). Para a análise dos metais foram coletadas amostras em frascos descartáveis de polietileno de um litro, sendo todas elas preservadas com ácido nítrico.

Os frascos, antes de serem acondicionados com as amostras, foram lavados com ácido clorídico (0.1 N), água destilada, e com a própria água coletada.

Foi tomado o cuidado para não deixar espaço vazio no frasco, afim de evitar a possibilidade de volatização.

Nos frascos de polietileno foram anotados o local, identificação do projeto, o número do poço de monitoramento, a data da coleta e indicação dos parâmetros a serem analisados no laboratório.

O monitoramento consistiu na amostragem periódica das águas subterrâneas dos poços de monitoramento, realizada entre o final do ano de 1988 e durante o ano de 1989, conforme indicam as tabelas. Foram realizadas, nesta etapa, análises *in situ* da temperatura da água e do ar, pH, Eh, condutividade elétrica, alcalinidade, gás carbônico livre, medição do nível d'água e coleta de amostras para análises química e bacteriológica.

10.3 Análise Físico-Química e Química

Em cada amostra de água foram analisados os seguintes parâmetros:

- Físico-Químicos (*in situ*): temperatura do ar e da água, pH, Eh, condutividade elétrica, alcalinidade (bicarbonato) e CO_2 livre.

Dentre os equipamentos fabricados pela DIGIMED - Indústria Eletrônica LTDA, em São Paulo, Brasil, o modelo DM-PV foi utilizado para medir o pH e Eh. O modelo CD-2P foi utilizado para medir a condutividade elétrica.

Para medir a alcalinidade foi utilizado o método analítico: Volumetria com ácido clorídico (titulação com HCl a uma concentração de 0,1N); e para calcular a concentração de CO_2 livre foi utilizado o método analítico: Volumetria de complexação com hidróxido de sódio (titulação com NaOH a 0,05N).

- Análise química dos cátions e ânions maiores (determinados em laboratório): cloro, magnésio, potássio, sódio, cálcio, sulfato, nitrato, nitrito e amônia;

- Análise química de alguns elementos menores (determinados em laboratório): bário, fósforo, silício, arsênio, flúor;

- Análise química dos metais (determinados em laboratório): manganês, cádmio, ferro, níquel, cromo, zinco, prata, alumínio, cobre, chumbo, boro.

As análises químicas foram executadas nos seguintes laboratórios:

- Laboratório de Química Inorgânica do CEPAS no Instituto de Geologia da USP, utilizando o equipamento Cromatrógrafo de Íons DIONEX 2010i, com os seguintes limites de detecção (em mg/l):

F^-	0,016
Cl^-	0,040
NO_2^-	0,013
HPO_4^{2-}	0,016
Br^-	0,018
NO_3^-	0,013
SO_4^{2-}	0,020

- Laboratório de Radioquímica e Química Analítica do Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA), Piracicaba, SP, utilizando Espectrômetro de Emissão Atômica com plasma acoplado indutivamente, da marca JARREL-ASH, modelo 975 fabricado pela Atom Company, a partir dos seguintes limites de detecção, em mg/l:

NH_4^+	0,20	Cr	0,05
$N\text{-}NO_3^-$	0,01	Cu	0,02
$N\text{-}NO_2^-$	0,01	Fe	0,02
SO_4^{2-}	2,00	Mn	0,01
P	0,10	Pb	0,10
Cl^-	0,10	Zn	0,02
Ag	0,05	N	0,02
Al	0,10	B	0,02
Ba	0,02	Cd	0,02

- Laboratório de Espectroscopia de Emissão Atômica no Instituto de Química da USP, São Paulo, SP, utilizando o Espectrômetro *Spectroflame* seqüencial, fabricado pela Spectro Company, com os seguintes limites de detecção em *ug*/ml:

Al	0,018	Ca	0,011	Co	0,003
Fe	0,025	Mg	0,016	Mn	0,001
V	0,005	As	0,002	Cd	0,002
Cr	0,003	Cu	0,047	Ni	0,058
Pb	0,064	Zn	0,082	Au	0,026
Pt	0,033	Pd	0,026	Ln	0,082
Li	0,020	Mo	0,020	Ti	0,006
Zn	0,008	Bi	0,019	Nb	0,001
Ta	0,006	Ba	0,001	B	0,026
P	0,078	Ag	0,019	Hf	0,011
Rh	0,021	Hg	0,021		

- Os metais alcalinos (Na e K) foram determinados pelo método Fotômetro de Chama no Laboratório de Química II do Departamento de Mineralogia e Petrologia do Instituto de Geociências da USP.

Uma vez obtidos os resultados das análises químicas realizadas em laboratório, os íons maiores, em miligramas por litro, foram transformados em miliequivalentes por litro, a fim de calcular o balanço iônico de cada amostra. As análises químicas foram aprovadas, pois apresentaram erro de balanço iônico menor que 10% (com exceção de uma amostra com erro de 13%), portanto, dentro de limites aceitáveis. Para a classificação da composição química das águas, foi utilizado o *Diagrama de PIPER*.

O parâmetro STD (sólidos totais dissolvidos) foi calculado pela equação STD = 0,65 x CE, segundo MATTHESS (1982), onde CE é a condutividade elétrica da água medida no campo.

11. Resultados

A interpretação dos dados expostos a seguir foi feita a partir do estudo das tabelas que ilustram os resultados do monitoramento, bem como dos gráficos elaborados através destas tabelas.

Com relação aos valores maximos permissiveis (VPM) para consumo humano foram considerados para efeito de interpretação os parâmetros estabelecidos na Portaria n. 36 de 19/01/1990 do Ministério da Saude e pelo Decreto Estadual n. 12.486 de 20/10/78 (CETESB, 1993).

a) Temperatura da água e do ar

Os resultados das medidas de temperatura do ar e da água estão indicados na Tabela 3 e na Fig. 5. Verifica-se que a temperatura média das águas subterrâneas foi de 21° C. A maioria das temperaturas das amostras apresentou-se entre 19 e 23° C. Das 28 medidas, apenas 2 foram maiores que 23° C, e 3 abaixo de 19° C (Tab 3 e Fig. 5-B).

A temperatura média do ar foi de 21.8^{o} C. A maioria das temperaturas situou-se entre 21 e 24° C. Acima de 24° C só houve uma medida, e abaixo de 21° C ocorreram 8 medidas (Tab. 3 e Fig. 5-A).

Observa-se que a temperatura da água e do ar apresentaram menores valores em Junho e Setembro e maiores valores em Março e Maio. Desta maneira, a variação da temperatura das águas subterrâneas parece seguir a das estações climáticas. De fato, a Fig. 5-C mostra a existência de uma forte correlação ($r = 0.827$) entre as temperaturas do ar e da água.

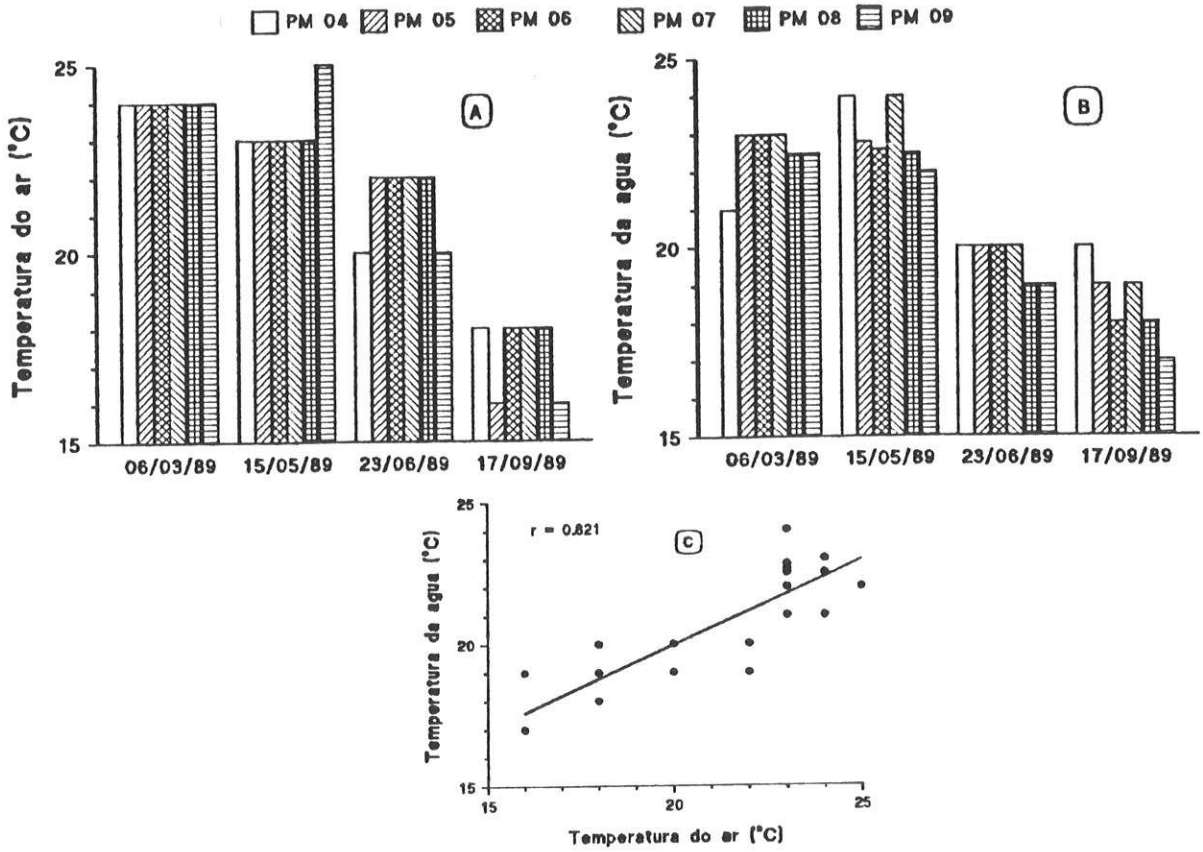


FIGURA 5. Variação da temperatura do ar (A) e da água (B) durante o período de monitoramento, e correlação (C) entre as duas variaveis.

b) Nível d'água

Como pode-se verificar pela Tab. 3 e pela Fig. 6. o nível do lençol freático não variou significativamente durante o período de monitoramento, não tendo sido portanto influenciado de maneira evidente pela precipitação pluviométrica. Por outro lado, o poço 09, surpreendentemente apresenta nível d'água abaixo da superfície do terreno apenas em Março, aflorando à superfície nos demais períodos de monitoramento.

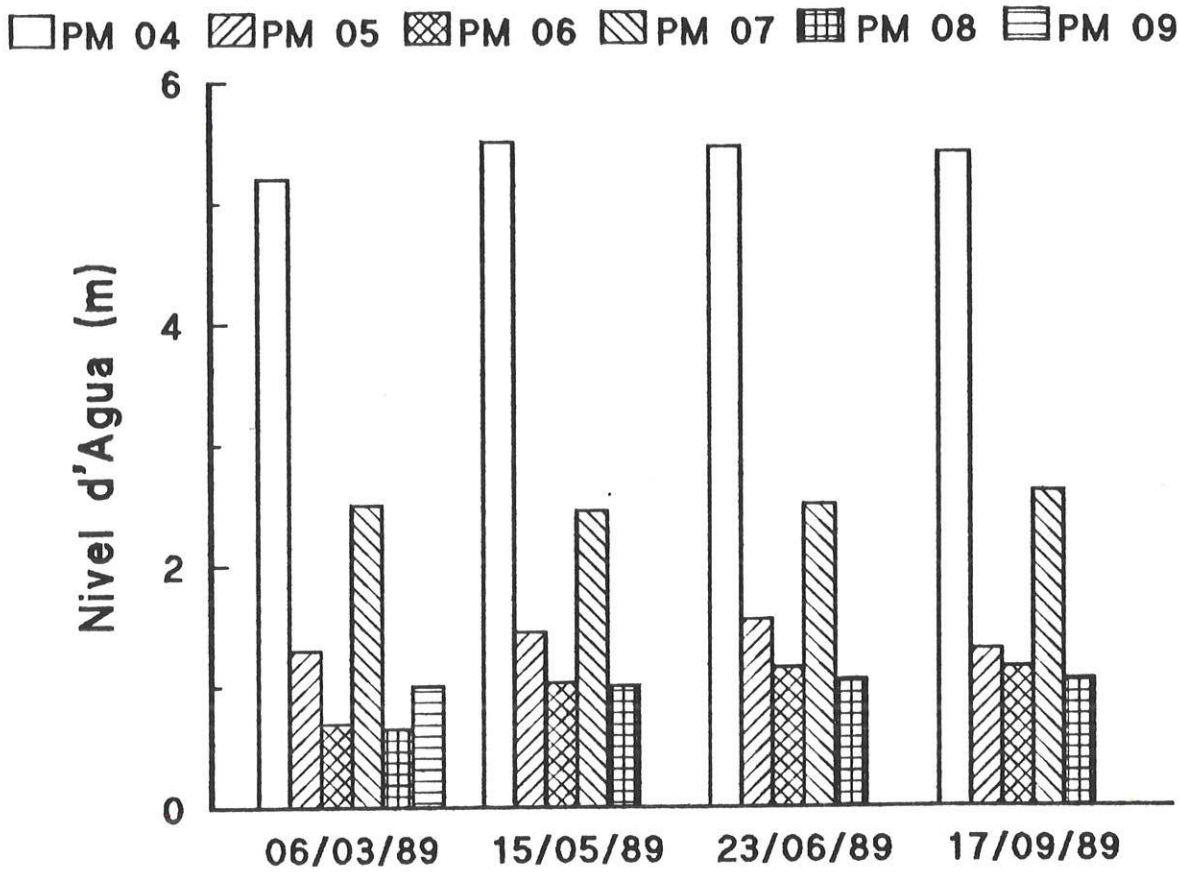


FIGURA 6. Comportamento do nível do lençol freático durante o período de monitoramento.

c)pH

Os valores de pH das amostras dos poços de monitoramento ficaram entre 4.21 e 6.82, com média de 5.95 (Tab. 3 e Fig. 7). Desta maneira, o pH apresentou valores relativamente ácidos. Para cada um dos poços de monitoramento os valores de pH foram aproximadamente homogêmeos durante o período de amostragem. É interessante observar que nos poços de monitoramento com nível d'água mais profundo é que foram encontrados os menores valores de pH (comparar as Figs. 6 e 7, poços 04 e 07).

Todos os valores de pH das diversas amostras apresentaram-se dentro dos valores máximos permissíveis para o consumo humano.

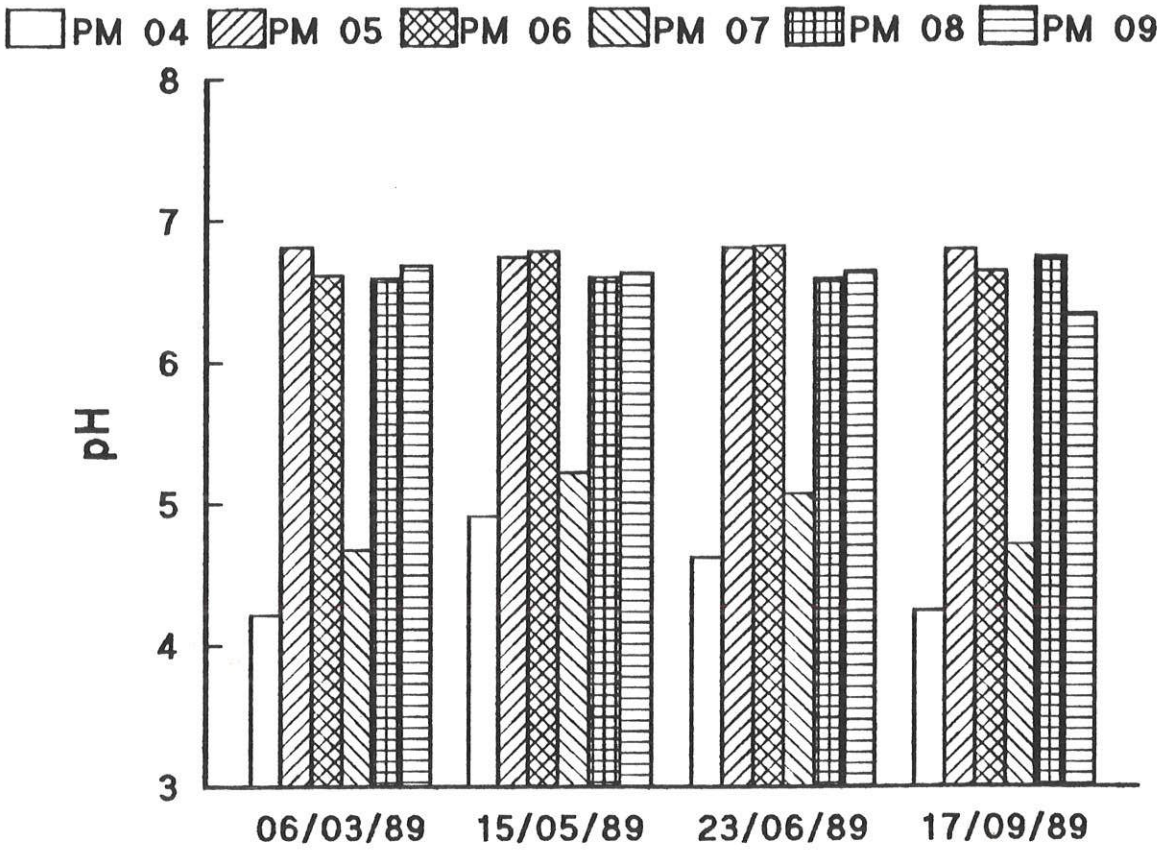


FIGURA 7. Variação do pH das águas subterrâneas nos diversos poços durante o período de monitoramento.

d) CO_2 livre

A concentração do dióxido de carbono livre variou de 19.8 a 207.9 mg/l, com média de 116.44 mg/l. Porém a maioria das amostras apresentaram valores entre 80 e 120 mg/l (Tab. 3 e Fig.8). Salvo raras exceções, os valores de CO_2 livre mostram-se homogênos por poço de monitoramento nas diversas épocas do ano.

A comparação dos dados de CO_2 livre da Tab. 3 com os valores obtidos de pH, na mesma Tabela, mostra não ter havido correlação entre essas duas variaveis. De fato, as concentrações de CO_2 livre dos poços 4 e 7, que apresentaram os menores valores de pH, não foi significativamente diferente das encontradas nos outros poços.

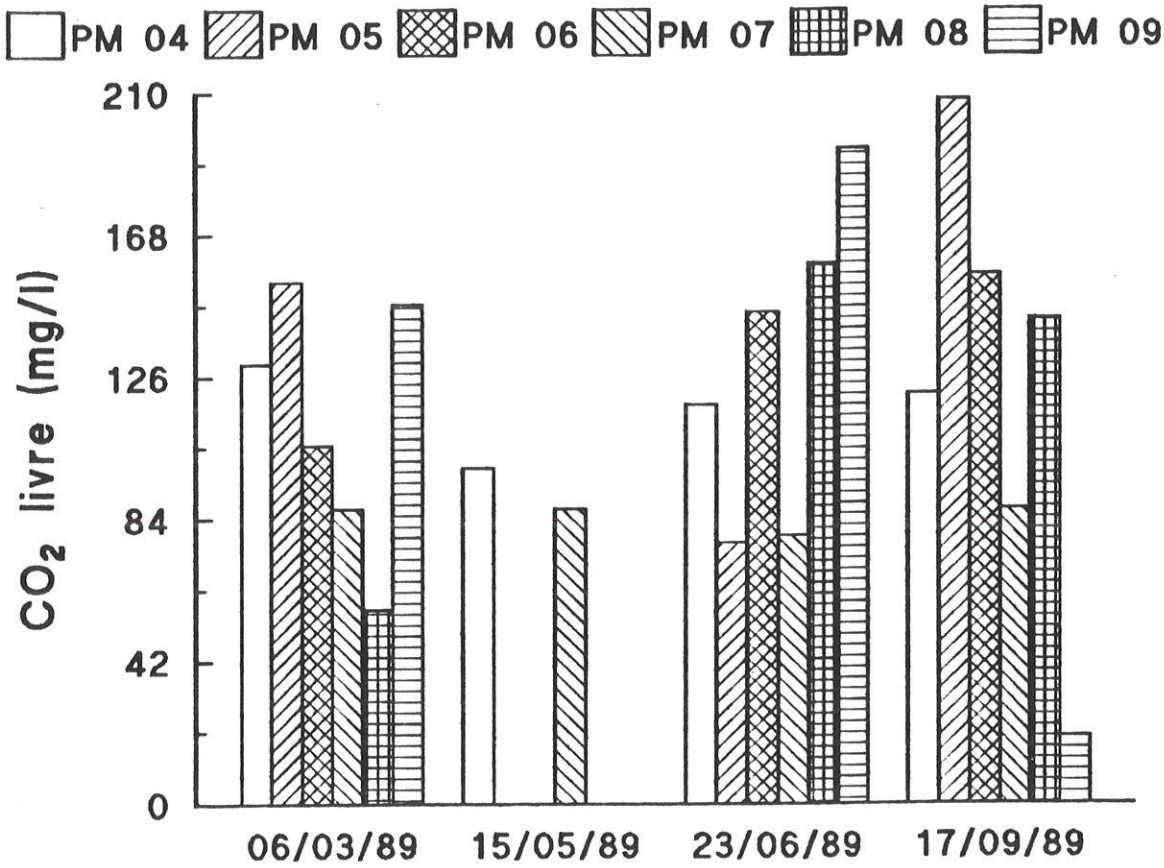


FIGURA 8. Variação da concentração de CO_2 livre nos diversos poços durante o período de monitoramento.

e) Condutividade elétrica

A condutividade elétrica apresentou valores entre 115 e 1.040 μS/cm, porém o intervalo mais encontrado foi de 159 a 479 μS/cm, com média de 325 μS/cm (Tab.

3 e Fig. 9). Nota-se que os valores de condutividade elétrica para cada poço de monitoramento são relativamente homogêneos para as diversas épocas do ano. Observa-se ainda que o poço 05 destaca-se dos demais por apresentar alta condutividade elétrica, de 570 a 940 μS/cm. A condutividade elétrica depende basicamente da concentração de ions dissolvidos e voltará a ser abordada quando da apresentação dos dados sobre estes últimos.

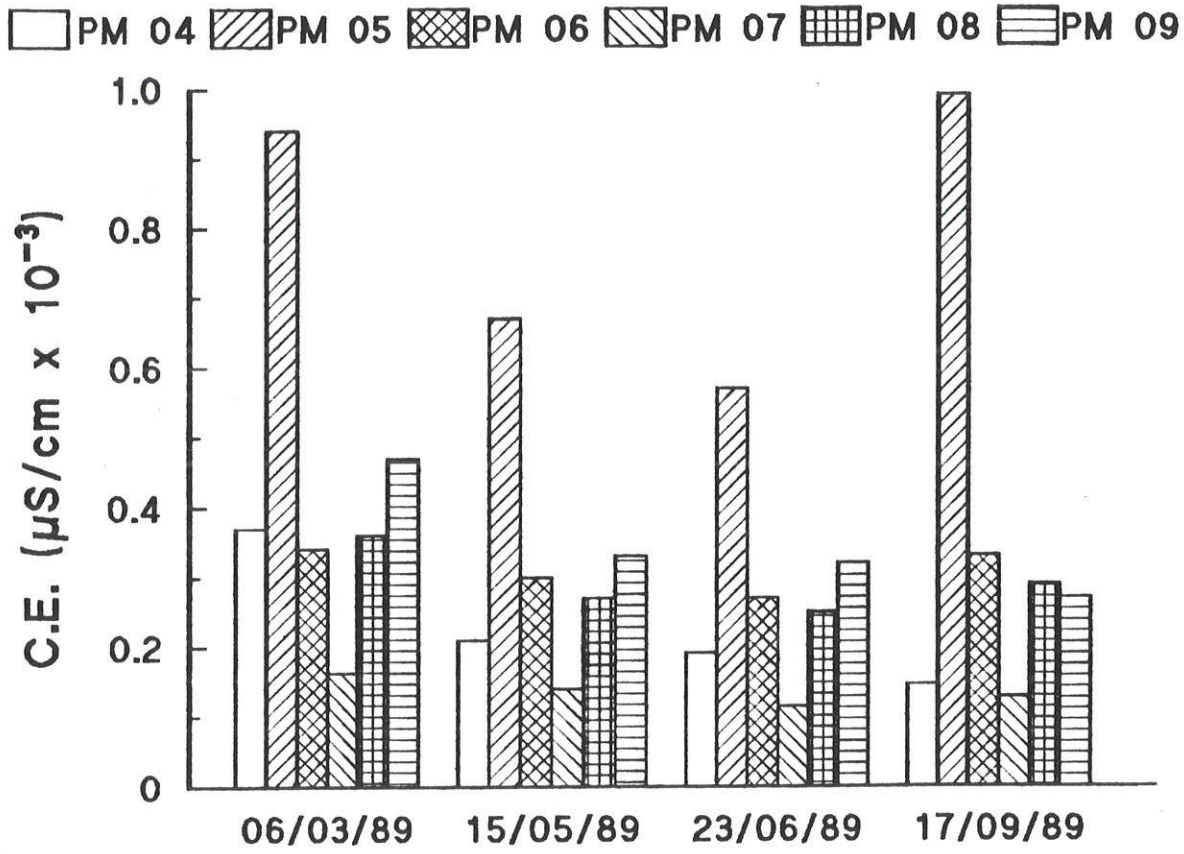


FIGURA 9. Variação da condutividade elétrica nos diversos poços durante o período de monitoramento.

f) Ions maiores

Estão incluidos na Tab. 4 os valores obtidos com os ions maiores, isto é, os ions que se encontravam em maior concentração nas amostras. A descrição dos resultados obtidos será iniciada pelos anions.

Anions

-O **ion HCO_3^-** (Tab. 4 e Fig. 10-A) apresentou concentração média de l47,7 mg/l, mas com grande dispersão (de 19 a 555 mg/l). Valores acima de 200 mg/l só foram encontrados nos poços 05 e 09 (com médias de 503 e 210 mg/l respectivamente). A concentração de bicarbonato não se alterou muito durante o decorrer das amostragens, permanecendo relativamente constante por poço de monitoramento. O poço 05 apresentou concentrações acima dos valores máximos permissiveis (VPM) para o consumo humano.

-O **ion SO_4^{2-}** (Tab. 4 e Fig. 10-B) apresentou concentração média de 10,42 mg/l, com grande dispersão, entre 0.15 e 125,4 mg/l.A maioria das concentrações variou entre <0.02 e 10 mg/l. Destaca-se o valor obtido em Março no poço 05 (125.40 mg/l), que é bastante elevado, embora ainda abaixo dos VMP.

-O **ion Cl^-** (Tab. 4 e Fig. 10-C) apresentou concentração média de 12,9 mg/l, variando entre 1,87 e 27.75 mg/l. A maioria das concentrações variou entre 7,0 e 18,8 mg/l.

-O **ion NO_3^-** (Tab. 4 e Fig. 10-D) apresentou concentração média de 11,37 mg/l, com grande dispersão (de <0.01 a 98,33 mg/l). Os poços de monitoramento 05, 06, 08, e 09 apresentaram valores menores que 2,0 mg/l. Valores próximos ou acima do máximo permissivel (10 mg/l) foram encontrados na fonte e nos poços 04 e 07,

tendo o primeiro apresentado em Maio nitrato em concentração cerca de 10 vezes maior que o VMP.

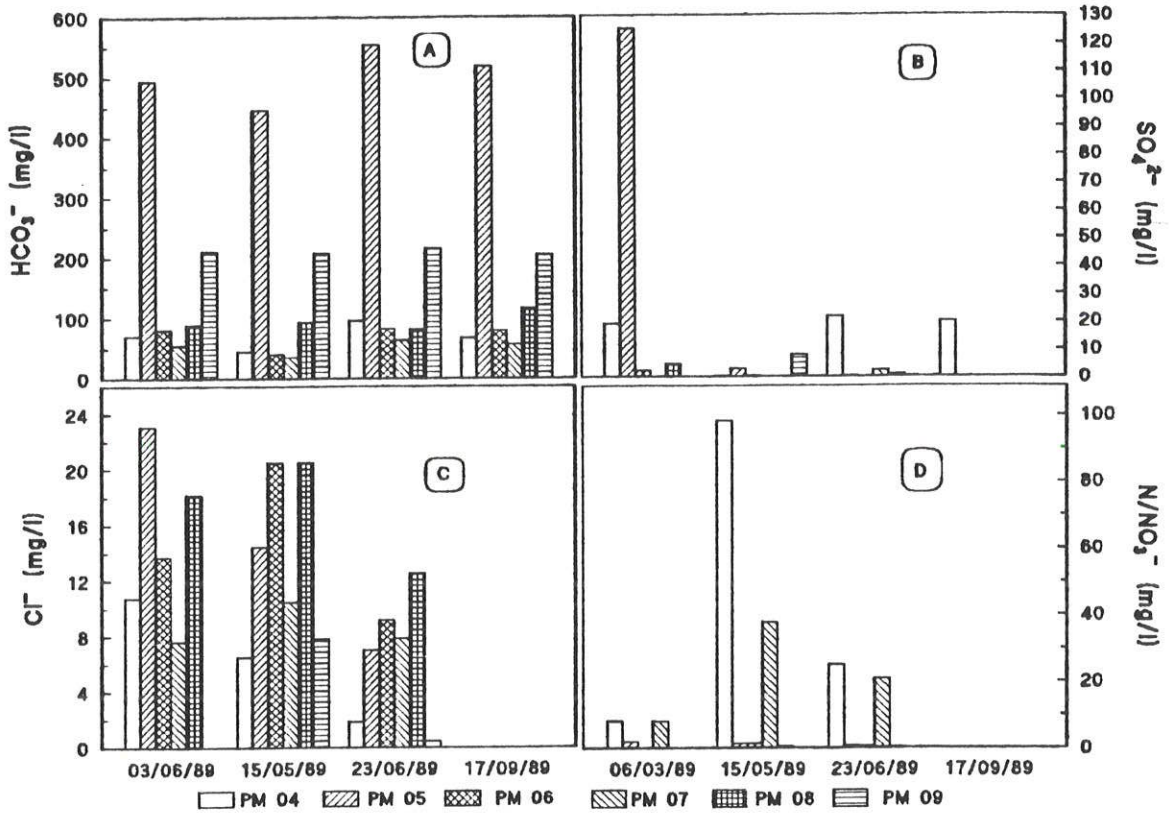


FIGURA 10. Variação da concentração de bicarbonato (A), sulfato (B), cloreto (C) e N/nitrato (D) nos diversos poços durante o período de monitoramento.

Cations

-O **ion Ca^{2+}** (Tab.4 e Fig. 11-A) foi o cation que se encontrou em maior concentração, com média de 30,4 mg/l. A concentração de cálcio foi relativamente uniforme por poço de monitoramento nos diversos períodos de amostragem. Não ultrapassou o nível de 25 mg/l na fonte e nos poços 04, 06, 07 e 08, encontrando-se mais elevado nos poços 05 e 09 (médias de 99,7 e 42,7 mg/l, respectivamente).

-O **ion Na^+** (Tab.4 e Fig. 11-B) apresentou concentração média de 11,17 mg/l. Com exceção de um valor discrepante no poço 05 as concentrações de sódio permaneceram relativamente estaveis durante o período de amostragem, apresentando valores semelhantes por poço de monitoramento.

- O **ion Mg^{2+}** (Tab. 4 e Fig. 11-C), com concentração média de 10,16 mg/l, também se manteve relativamente estavel por poço de monitoramento no decorrer do período de estudo. Seus niveis foram relativamente baixos, nunca ultrapassando 10 mg/l na fonte e nos poços 06, 07, e 08.Encontrava-se mais elevado nos poços 04,09, e, especialmente no poço 05, onde chegou a 65 mg/l.

-O **ion K^+** (Tab. 4 e Fig. 11-D) apresentou concentrações relativamente pequenas, ao redor de I a 4 mg/l em todos os poços, com exceção do poço 05, no qual as amostras obtidas em Março, Junho e Setembro chegaram a 12-14 mg/l. A média da concentração de potássio foi de 3.8 mg/l. Este cation também se manteve relativamente constante por poço de monitoramento durante o período de pesquisa, apesar de um valor discrepante, muito baixo, no poço 05.

g) Classificação química das águas

De posse dos dados acima, foi possivel caracterizar a composição química das águas. Esta caracterização pode ser feita pela concentração dos elementos maiores, expressos em meq /l. Assim, as águas do Cemitério Vila Formosa caracterizam-se por:

$$r\,Ca^{2+} > r\,Mg^{2+} > r\,Na^{+} > r\,K^{+} \text{ e}$$

$$r\,HCO_3^{-} > r\,Cl^{-} > r\,SO_4^{2-} > r\,NO_3^{-}$$

Outro instrumento que tem sido muito utilizado para caracterizar a composição química da água é o diagrama de Piper. Para isto, as concentrações dos

diferenntes cations e anions, computados separadamente, são expressos em meq/l e transformados em porcentagem do total de cations e do total de anions. A Fig. 12 mostra que podemos classificar as águas subterrâneas do Cemitério Vila Formosa como bicarbonatada cálcica em todos os poços de monitoramento. As águas da fonte, nas quais o cation predominante foi o Na^+, foram classificadas como bicarbonatada sódica.

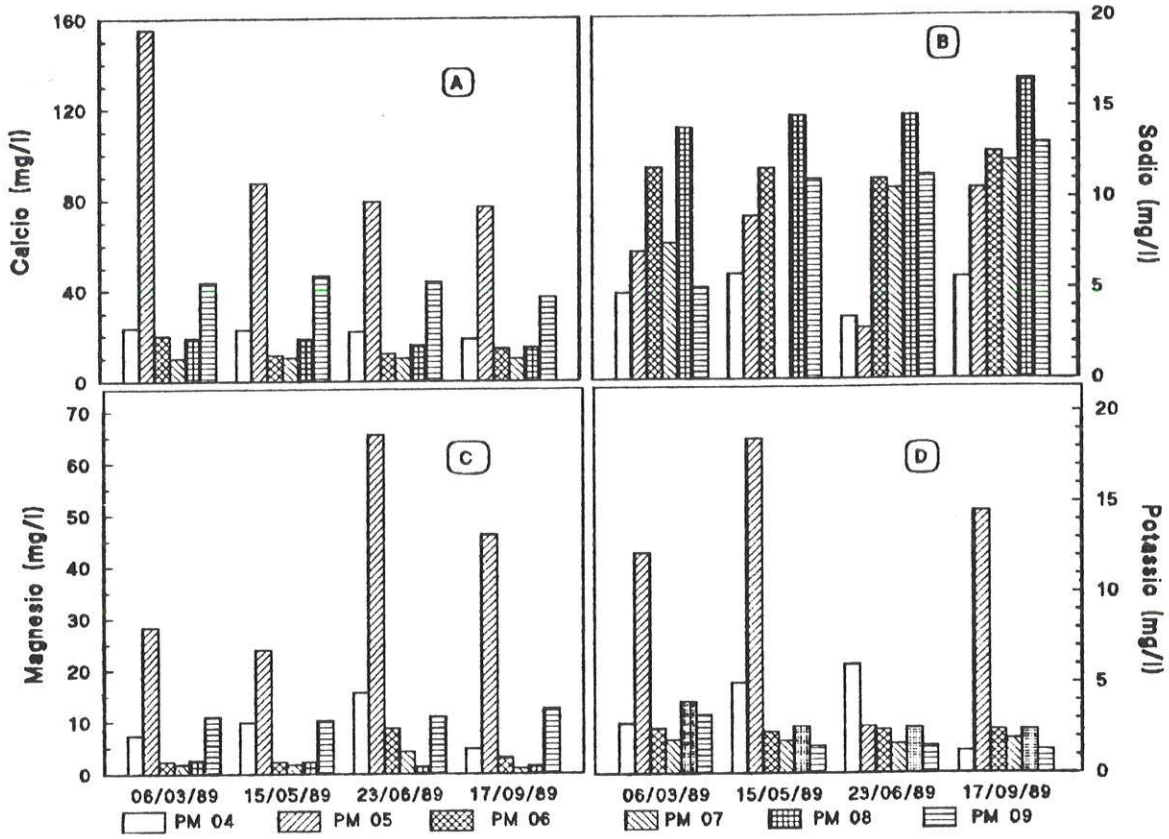


FIGURA 11. Variação da concentração de cálcio (A), sódio (B), magnésio (C) e potássio (D) nos diversos poços durante o período de monitoramento.

Instituto de Geociencias - Biblioteca

+1882

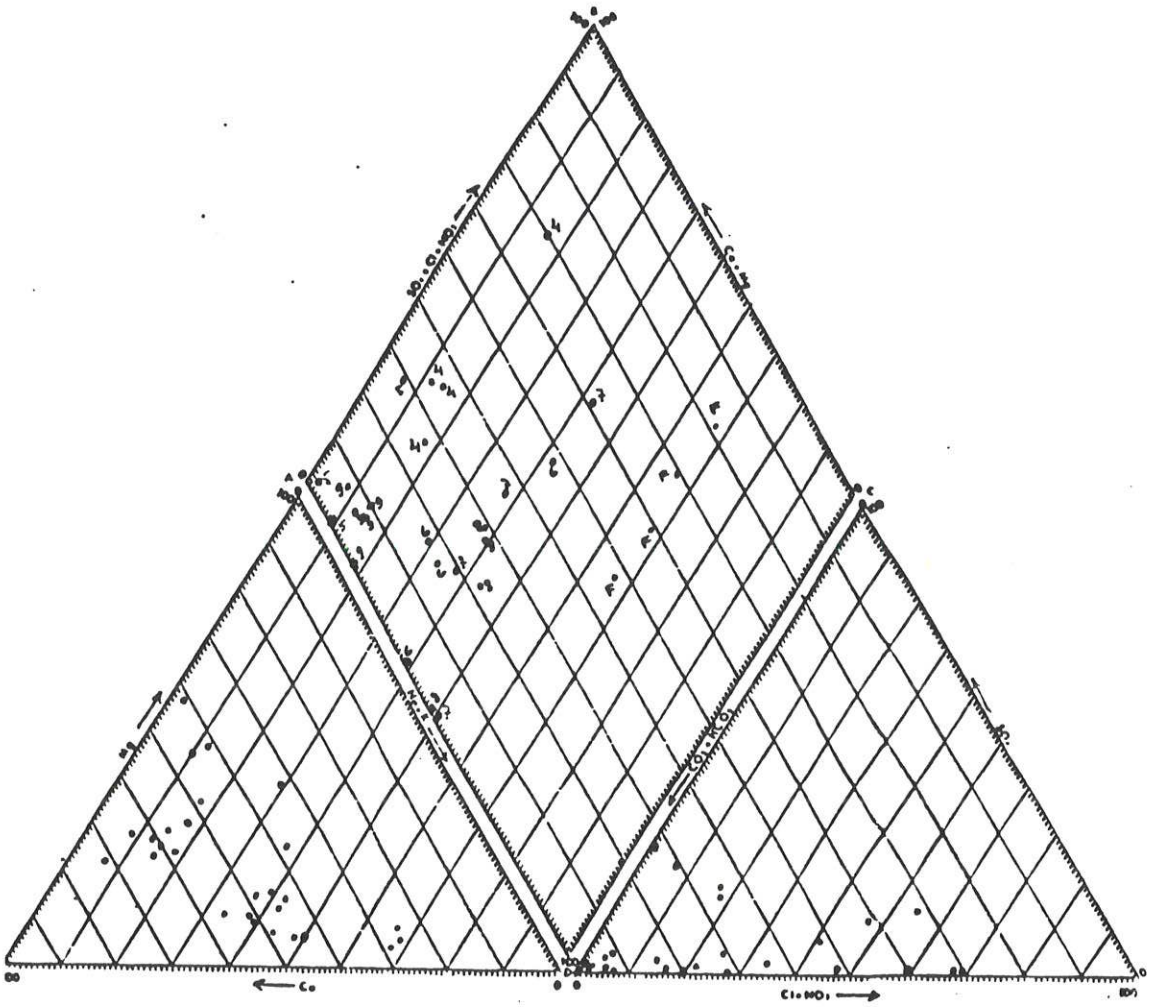


FIGURA 12. Classificação química das águas subterrâneas do Cemitério Vila Formosa no Diagrama de Piper.

h)Sólidos totais dissolvidos

Os sólidos totais dissolvidos foram calculados diretamente a partir dos valores de condutividade elétrica (MATHESS, 1982). A concentração média dos sólidos totais dissolvidos (Tab. 4) foi de 211,36 mg/l, com a maioria dos valores variando de 103

a 305 mg/l, com apenas 5 amostras de concentração menor que 103 mg/l e 4 maiores que 305 mg/l. É interessante observar que as maiores concentrações se encontram no poço 05, além do fato de que foram obtidas 2 amostras acima dos VMP. Também se observa que a concentração dos sólidos totais dissolvidos não sofre grande alteração durante o ano, permanecendo relativamente constante por poço de monitoramento.

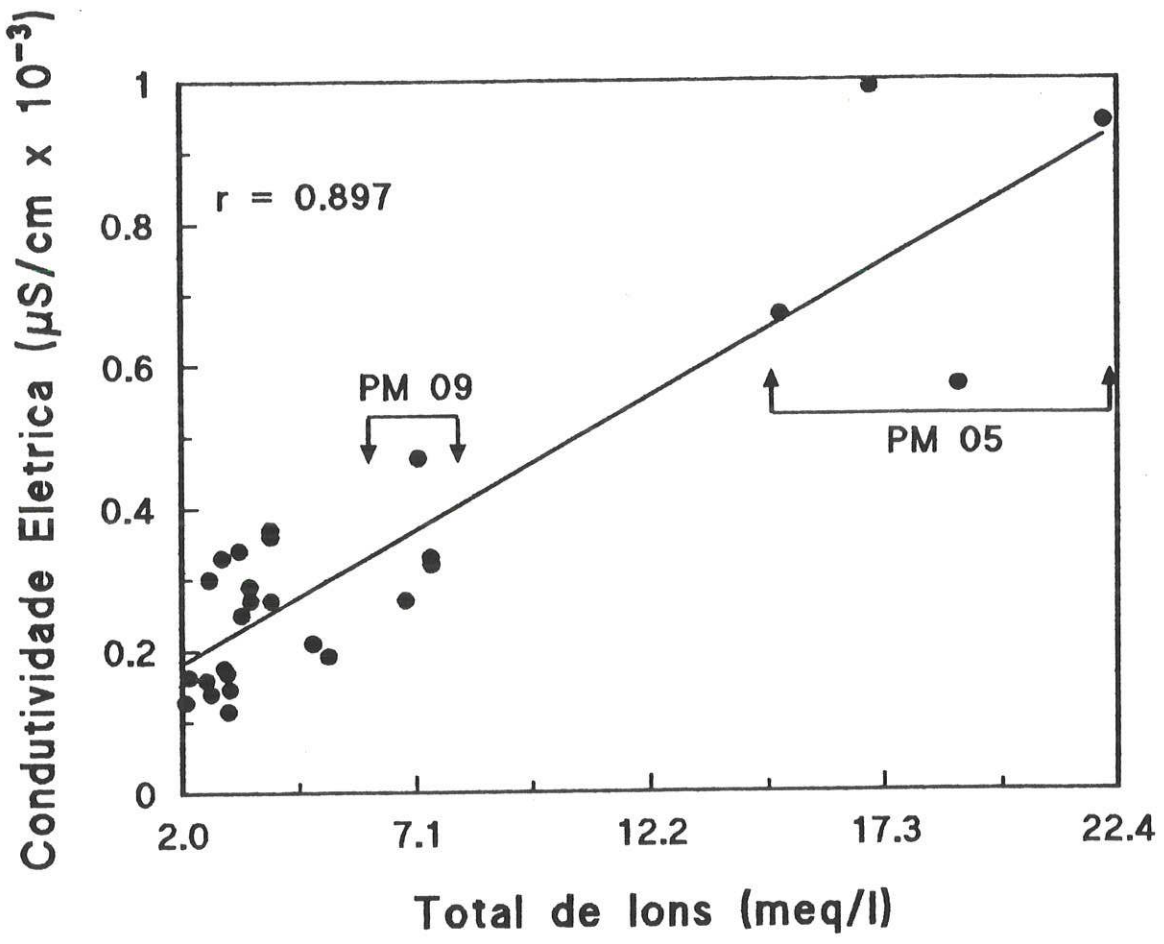


FIGURA 13. Correlação entre o total de íons e a condutividade elétrica das diversas amostras de água.

O fato dos sólidos totais dissolvidos terem sido calculados diretamente a partir da condutividade elétrica pressupõe que esses sólidos sejam constituidos basicamente por ions, que são os responsaveis pela condução de eletricidade no

meio aquoso. É de se esperar portanto que exista uma boa correlação entre a concentração total de ions (calculada pela soma da concentração dos ions maiores, expressos em meq/l) e os valores obtidos de condutividade elétrica de cada amostra. A Fig. 13 mostra que realmente houve significante correlação (r = 0.897) entre essas duas variaveis. A Fig. 13 também ilustra o fato das amostras obtidas dos poços 09 e 05 (especialmente deste último) serem as que contêm a maior quantidade total de ions.

i)Elementos menores

Estão relacionados na Tab. 5 os resultados obtidos nas medidas de diversos elementos que se encontravam em menor concentração nas águas subterrâneas do Cemitério Vila Formosa. Estão também indicados na Tab. 5 os valores máximos permissiveis para consumo humano. A Tabela 5 mostra:

- O **N/NH_4^+** apresentou-se com concentração alta, atingindo mais de 10 vezes os VPM em 2 amostras obtidas na fonte e também na amostra do poço 08. No poço 06 a concentração deste elemento estava altíssima, quase 100 vezes o VMP. Convém notar ainda que mesmo nas outras amostras pode ter ocorrido contaminação por amônea, pois o limite de detecção do método utiulizado era maior do que o VMP.

- O **N/NO_2^-** apresentou-se com concentração um pouco acima dos VPM em uma das amostras da fonte. Foi 20 vezes maior que o VMP no poço 04. No poço 05 sua concentração foi muito elevada, mais de 100 vezes acima do VMP.

- O **Mn** estava em concentração elevada, mais de 2 vezes o VMP, em 2 amostras da fonte, e nas amostras obtidas dos poços 06 e 08.

- O **Cr** foi detectado em concentrações acima do VMP nas águas obtidas de todos os poços de monitoramento. Sua concentração estava especialmente elevada nos poços 09 (5 vezes acima do VMP) e no poço 05 (mais de 10 vezes acima do VMP).

- A **Ag** foi detectada em concentração maior que o VMP em uma das amostras da fonte (2 vezes o VMP).

- O **Al** foi detectado em concentrações elevadas em 2 amostras da fonte (2 vezes maior que o VMP) e nas amostras dos poços 04 e 07. Na amostra do poço 04 sua concentração estava extremamente elevada, cerca de 60 vezes o VMP.

- Os demais elementos constantes da Tab. 5: Ba, Si, P, Cd, Fe, Ni, Zn, Cu e Pb, ou não possuem VMP recomendados para consumo humano ou estão abaixo desses valores.

j) Descrição por ponto de coleta

Completada a descrição dos resultados das análises de cada um dos elementos estudados, é interessante resumir as principais características das amostras dos diversos pontos de coleta (fonte e poços de monitoramento).

Fonte. As amostras obtidas na fonte apresentaram as seguintes características: concentrações elevadas de compostos nitrogenados (amônia, nitrato e nitrito). O maior aumento foi de amônia, atingindo mais de 10 vezes o VMP. O aumento de nitrito foi pequeno, e detectado em apenas uma das amostras. Foram ainda detectadas concentrações de manganês, prata e alumínio acima do VMP.

Poço 04. Neste poço foram encontrados niveis altos de nitrito e nitrato. O nitrito alcançou 20 vezes o VMP e o nitrato quase 10 vezes. Além disso foram

encontrados niveis elevados de cromo e especialmente de alumínio (quase 60 vezes o VMP).

Poço 05. Chama a atenção neste poço a alta concentração de nitrito (mais de 100 vezes acima do VMP). O cromo encontra-se em concentração maior que 10 vezes o VMP. Independentemente destas observações é notavel neste poço a alta concentração dos ioms bicarbonato, cálcio e magnésio, bem acima daquela encontrada nos outros poços de monitoramento. As concentrações de bicarbonato ultrapassam o VMP. A alta concentração destes ions reflete-se nos altos valores de condutividade elétrica, e, portanto, na quantidade de sólidos totais dissolvidoss, que são também muito maiores que aquela detectada nos demais pontos de coleta.

Poço 06. Altos niveis de amônia, que atingiram quase 50 vezes o VMP. O manganês e o cromo apresentaram concentrações acima do VMP.

Poço 07. O nitrato foi encontrado neste poço em concentrações que chegaram a alcançar de 2 a 3 vezes o VMP. O cromo e o alumínio também foram encontrados em concentração acima do VMP.

Poço 08. Foram encontradas concentrações de amônia 10 vezes maiores que o VMP. Além disso, também foram encontrados valores de manganês e cromo acima do VMP.

Poço 09..Neste poço foi encontrado o nível mais alto de amônia (cerca de 150 vezes o VMP). A concentração de cromo também estava elevada (5 vezes maior que o VMP). É interessante notar as altas concentrações de bicarbonato, cálcio e magnésio neste poço, bem acima das encontradas na fonte e nos poços 04, 06, 07 e 08. Este comportamento lembra o observado no poço 05, embora com elevações menos acentuadas. A concentração do bicarbonato, embora não ultrapasse o VMP, encontra-se próxima deste. Como para o poço 05, a alta concentração destes ions resulta num aumento da condutividade (e portanto dos sólidos totais dissolvidos). A

Fig. 13 evidencia como este comportamento destaca os poços 09 e 05 dos demais pontos de coleta.

TABELA 3. Resultados da análise fisico-química das águas subterrâneas do Cemitério Vila Formosa.

Data de Coleta	n. dos PM	t Agua (C)	t Ar (C)	N.d'Agua (m)	pH	C.E. (uS/cm)	CO2 lv. (mg/l)
19/09/88	Fonte	21.00	23.00	0.00	5.53	159.00	93.50
28/09/88	Fonte	-	-	0.00	5.31	-	-
16/01/89	Fonte	22.00	25.00	0.00	5.01	175.00	104.50
15/05/89	Fonte	22.00	23.00	0.00	6.13	169.00	80.30
MEDIA	Fonte	21.67	23.67	0.00	5.50	167.67	92.77
06/03/89	PM 04	21.00	24.00	-5.20	4.21	370.00	129.80
15/05/89	PM 04	24.00	23.00	-5.50	4.91	210.00	99.00
23/06/89	PM 04	20.00	20.00	-5.46	4.62	192.00	117.70
17/09/89	PM 04	20.00	18.00	-5.40	4.24	146.00	121.00
MEDIAS	PM 04	21.25	21.25	-5.39	4.50	229.50	116.88
06/03/89	PM 05	23.00	24.00	-1.30	6.81	940.00	154.00
15/05/89	PM 05	22.80	23.00	-1.45	6.74	670.00	-
23/06/89	PM 05	20.00	22.00	-1.55	6.81	570.00	77.00
17/09/89	PM 05	19.00	16.00	-1.30	6.79	990.00	207.90
MEDIAS	PM 05	21.20	21.25	-1.40	6.79	792.50	146.30
06/03/89	PM 06	23.00	24.00	-0.69	6.61	340.00	105.60
15/05/89	PM 06	22.60	23.00	-1.03	6.78	300.00	-
23/06/89	PM 06	20.00	22.00	-1.15	6.82	270.00	145.20
17/09/89	PM 06	18.00	18.00	-1.15	6.64	330.00	156.20
MEDIAS	PM 06	20.90	21.75	-1.01	6.71	310.00	135.67
06/03/89	PM 07	23.00	24.00	-2.50	4.67	163.00	86.90
15/05/89	PM 07	24.00	23.00	-2.45	5.22	140.00	86.90
23/06/89	PM 07	20.00	22.00	-2.50	5.07	115.00	79.20
17/09/89	PM 07	19.00	18.00	-2.60	4.71	128.00	86.90
MEDIAS	PM 07	21.50	21.75	-2.51	4.92	136.50	84.98
06/03/89	PM 08	22.50	24.00	-0.65	6.59	360.00	57.20
15/05/89	PM 08	22.50	23.00	-1.00	6.60	270.00	-
23/06/89	PM 08	19.00	22.00	-1.05	6.59	250.00	159.50
17/09/89	PM 08	18.00	18.00	-1.05	6.74	290.00	143.00
MEDIAS	PM 08	20.50	21.75	-0.94	6.63	292.50	119.90
06/03/89	PM 09	22.50	24.00	-1.00	6.68	470.00	147.40
15/05/89	PM 09	22.00	25.00	0.00	6.63	330.00	-
23/06/89	PM 09	19.00	20.00	0.00	6.64	320.00	193.60
17/09/89	PM 09	17.00	16.00	0.00	6.34	270.00	19.80
MEDIAS	PM 09	20.13	21.25	-0.25	6.57	347.50	120.27
V.M.P					4 - 10		

A tabela inclui todas as medidas realizadas no campo.

Os níveis de HCO3-, também determinados no campo, foram incluídos na Tabela 2 por conveniência de exposição.

- : Amostras não analisadas.

V.M.P.: Valores Máximos Permissíveis para consumo humano.

TABELA 4. Resultados das medidas da concentração dos íons maiores das águas subterrâneas do Cemitério Vila Formosa.

Data de Coleta	n. dos PM	Mg ++ (mg/l)	Na + (mg/l)	K + (mg/l)	Ca ++ (mg/l)	N/NO3- (mg/l)	HCO3- (mg/l)	Cl- (mg/l)	SO4 -2 (mg/l)	S.T.D. (mg/l)
19/09/88	Fonte	1.30	17.61	1.73	6.52	9.92	24.40	18.80	9.05	103.35
28/09/88	Fonte	1.25	18.04	1.75	6.69	5.86	48.80	18.28	5.25	-
16/01/89	Fonte	0.80	21.86	2.17	8.98	8.50	34.90	18.42	7.98	113.75
15/05/89	Fonte	1.11	20.00	1.90	7.39	18.88	19.10	27.75	10.00	109.85
MEDIA	Fonte	1.12	19.38	1.89	7.40	10.79	31.80	20.81	8.07	108.98
06/03/89	PM 04	7.38	4.79	2.78	23.45	8.08	71.20	10.76	19.02	240.50
15/05/89	PM 04	9.95	5.80	5.00	22.59	98.33	44.70	6.50	0.50	136.50
23/06/89	PM 04	15.72	3.40	6.00	21.85	25.04	95.40	1.87	21.67	124.80
17/09/89	PM 04	4.72	5.60	1.20	18.52	-	67.50	-	20.00	94.90
MEDIA	PM 04	9.44	4.90	3.75	21.60	43.82	69.70	6.38	15.30	149.18
06/03/89	PM 05	28.29	7.07	12.21	155.30	1.99	494.10	23.08	125.40	611.00
15/05/89	PM 05	23.95	9.00	18.50	87.50	1.42	445.30	14.48	2.89	435.50
23/06/89	PM 05	65.51	2.80	2.60	79.03	0.83	555.10	7.03	0.38	370.50
17/09/89	PM 05	46.21	10.50	14.50	76.81	-	518.50	-	-	643.50
MEDIA	PM 05	40.99	7.34	11.95	99.66	1.41	503.25	14.86	42.89	515.13
06/03/89	PM 06	2.39	11.67	2.49	19.99	< 0.01	81.10	13.72	2.33	221.00
15/05/89	PM 06	2.31	11.60	2.30	11.57	1.42	40.30	20.50	0.39	195.00
23/06/89	PM 06	8.79	11.00	2.40	12.01	0.55	83.10	9.18	0.15	175.50
17/09/89	PM 06	3.07	12.50	2.40	14.24	-	80.00	-	-	214.50
MEDIA	PM 06	4.14	11.69	2.40	14.45	0.66	71.13	14.47	0.96	201.50
06/03/89	PM 07	1.84	7.54	1.85	9.96	7.93	55.10	7.67	< 0.02	105.95
15/05/89	PM 07	1.80	9.80	1.80	10.35	37.77	35.90	10.50	nd	91.00
23/06/89	PM 07	4.22	10.50	1.60	10.19	20.83	63.90	7.87	2.30	74.75
17/09/89	PM 07	1.04	12.00	1.90	9.77	-	56.70	-	-	83.20
MEDIA	PM 07	2.23	9.96	1.79	10.07	22.18	52.90	8.68	0.77	88.73
06/03/89	PM 08	2.57	13.88	3.99	19.08	< 0.01	89.10	18.19	4.57	234.00
15/05/89	PM 08	2.31	14.50	2.60	18.53	0.57	93.70	20.50	0.26	175.70
23/06/89	PM 08	1.40	14.50	2.50	15.77	0.41	81.30	12.56	0.76	162.50
17/09/89	PM 08	1.49	16.50	2.40	14.71	-	115.90	-	-	188.50
MEDIA	PM 08	1.94	14.85	2.87	17.02	0.33	95.00	17.08	1.86	190.18
06/03/89	PM 09	11.07	5.09	3.25	43.60	< 0.01	211.10	10.11	< 0.02	305.50
15/05/89	PM 09	10.32	11.00	1.50	46.35	0.14	207.40	5.80	7.82	214.50
23/06/89	PM 09	11.10	11.20	1.50	43.88	0.16	215.90	8.71	0.46	208.00
17/09/89	PM 09	12.50	13.00	1.30	37.08	-	206.10	-	-	175.50
MEDIA	PM 09	11.25	10.07	1.89	42.73	0.10	210.13	8.21	2.76	225.88
V.M.P.			200.00			10.00	250.00	250.00	250.00	1 000.00

-: amostras não analisadas

nd: valores não detectados

V.M.P.: Valores Máximos Permissíveis para o consumo humano

TABELA 5. Elementos encontrados em menor concentração nas águas subterrâneas do Cemitério Vila Formosa.

Data de Coleta	n. dos PM	N/NH4+ (mg/l)	N/NO2- (mg/l)	Ba (mg/l)	Si (mg/l)	P (mg/l)	Mn (mg/l)	Cd (mg/l)	Fe (mg/l)
19/08/88	Fonte	0.56	< 0.01	0.12	1.42	0.10	0.12	< 0.02	< 0.02
28/09/88	Fonte	0.62	0.03	0.12	1.42	0.18	0.12	< 0.02	< 0.02
16/01/89	Fonte	< 0.20	< 0.01	0.12	4.00	< 0.10	< 0.01	< 0.02	< 0.02
06/03/89	PM 04	< 0.20	0.40	0.26	0.85	< 0.10	0.03	< 0.02	0.03
06/03/89	PM 05	< 0.20	2.52	0.48	4.75	< 0.10	0.02	< 0.02	0.08
06/03/89	PM 06	4.55	< 0.01	0.29	1.06	< 0.10	0.13	< 0.02	0.15
06/03/89	PM 07	< 0.20	< 0.01	0.27	1.09	< 0.10	0.04	< 0.02	< 0.02
06/03/89	PM 08	0.54	< 0.01	0.26	0.76	< 0.10	0.15	< 0.02	< 0.02
06/03/89	PM 09	7.59	< 0.01	0.09	2.25	< 0.10	0.02	< 0.02	< 0.02
V.M.P.		0.05	0.02	1.00			0.10	0.05	0.30

Data de Coleta	n. dos PM	Ni (mg/l)	Cr (mg/l)	Zn (mg/l)	Ag (mg/l)	Al (mg/l)	Cu (mg/l)	Pb (mg/l)
19/09/88	Fonte	0.03	< 0.05	< 0.02	< 0.05	0.22	< 0.02	nd
28/09/88	Fonte	< 0.02	< 0.05	< 0.02	< 0.05	0.21	< 0.02	nd
16/01/89	Fonte	0.14	< 0.05	0.03	0.10	0.10	< 0.02	nd
06/03/89	PM 04	< 0.02	0.17	0.16	< 0.05	5.85	< 0.02	nd
06/03/89	PM 05	< 0.02	0.63	< 0.02	< 0.05	< 0.10	< 0.02	nd
06/03/89	PM 06	< 0.02	0.08	< 0.02	< 0.05	< 0.10	< 0.02	nd
06/03/89	PM 07	< 0.02	0.08	0.03	< 0.05	0.16	< 0.02	nd
06/03/89	PM 08	< 0.02	0.07	< 0.02	< 0.05	< 0.10	< 0.02	nd
06/03/89	PM 09	< 0.02	0.26	< 0.02	< 0.05	< 0.10	< 0.02	nd
V.M.P.			0.05	5.00	0.05	0.20	1.00	0.05

nd. valores não detectados

V.M.P.: Valores Máximos Permissíveis para o consumo humano

12. Discussão e Interpretação dos Resultados

Antes de discutir os achados, torna-se necessário esclarecer que os valores máximos permissiveis para o consumo humano, utilizados na descrição dos resultados, embora tenham interesse do ponto de vista de saude pública, não permitem, para muitos parâmetros, concluir com segurança que as alterações observadas eram devidas á presença do cemitério. De fato, a concentração elevada de certos elementos pode ter sido devida á própria formação geológica. O poço 09 foi construido exatamente para obviar esta dificuldade, servindo de controle ("background"). Infelizmente, os dados já descritos para este poço mostram que amostras de água dele obtidas apresentavam alterações sugestivas de contaminação. Qualquer inferência ou conclusão sobre os achados deve levar este fato em conta.

A observação mais importante de ordem geral que deve ser feita é de que durante o período de monitoramento foram detectadas nas águas subterrâneas do Cemitério Vila Formosa, em todos os pontos de coleta (fonte e poços), concentrações elevadas de elementos nitrogenados, fortemente sugestivas de contaminação química destas águas pela presença do cemitério.

Na discussão pormenorizada que se segue serão abordados separadamente os 3 tipos de produtos químicos analisados:

1.produtos nitrogenados, 2. ions maiores e 3. elementos menores.

Produtos nitrogenados:

Em condições normais a amômia se encontra em concentrações muito baixas (menor que 10 μg/l de nitrogênio) em águas subterrâneas, em virtude de ser adsorvidas pelas partículas do solo, principalmente pelas argilas, e também por

não ser facilmente lixiviada (Standard Methods for Examination of Water and Wastewater, 1985). Por outro lado não ocorre, em condições naturais, redução de NO_3^{-2} e NO_2^- a amônia nas águas subterrâneas, sendo a amônia geralmente produzida por decomposição de compostos orgânicos. Estudos paralelos a este demonstraram contaminação bateriológica das águas subterrâneas do Cemitério Vila Formosa (ver capítulo 8). Parece inescapavel, portanto, a conclusão de que a amônia detectada na fonte e principalmente nos poços 06 e 09 provem da decomposição bacteriana dos corpos. É fato bem estabelecido que a decomposição de materia viva produz poliaminas, como a cadaverina e a putrescina (SMITH *et al*, 1983), que podem ser desaminadas, gerando amônia. A concentração de amônia nas amostras dos diversos poços depende do ciclo de sepultamento dos corpos, sendo os de sepultamento recente as maiores fontes de produção de amônia. Isto explicaria o fato da concentração de amônia ter sido muito pequena em alguns poços (PM 04, 05 e 07).

A interpretação dos resultados das medidas de nitrito devem levar em conta o fato deste ion ser muito instavel, sendo rapidamente oxidado a nitrato. Por outro lado, certas bactérias, inclusive as coliformes, têm a capacidade de produzir nitrito por redução do nitrato. Este anion foi encontrado em concentrações relativamente altas nos poços 04 e 05, especialmesnte neste. As concentrações muito baixas, menores que o mínimo detectavel pelo método utilizado, em poços localizados a algumas dezenas de metros dos poços 04 e 05 (06, 07, 08) e ainda no poço 09, indicam que aqueles valores elevados de nitrito resultam da decomposição dos corpos e não da formação geológica. Poder-se-ia inferir da alta concentração de nitrito no poço 05 que este se encontra na zona saturada, já que na zona não saturada este ion seria rapidamente oxidado a nitrato.

O nitrato pode existir em concentrações relativamente elevadas em águas subterrâneas dependendo da formação geológica local. No entanto, o encontro de concentrações relativamente baixas (poços 05, 06, 08 e 09), de valor intermediário (na fontes e em amostras dos poços 04 e 07), ao lado de outras muito altas (em amostras dos poços 04 e 07), indicam que as concentrações mais elevadas deste ion são também também devidas à decomposição orgânica. As diferenças entre os

diversos poços, bem como num mesmo poço em épocas diferentes, devem-se provavalmente ao já mencionado ciclo de sepultamentos e à localização dos túmulos.

O valor máximo permissivel de nitrato na água para o consumo humano (10 mg/l de nitrogênio) não foi estabelecido pelo fato deste ion ser tóxico acima desta concentração, mas sim para prevenir a metahemoglobinemia. Foi verificado, especialmente em crianças, que a ingestão de nitrato em excesso provoca a transformação da hemoglobina em metahemoglobina, forma sob qual esta molécula é incapaz de transportar oxigênio. Na realidade, o principal agente causador da metahemoglobinemia é o nitrito, que possui afinidade para a hemoglobina maior que o nitrato. Este, quando ingerido, é reduzido a nitrito pela ação de bactérias da flora intestinal (GOODMAN & GILMAN, 1947).

Este fato mostra os riscos de saúde publica representados pelos altos índices de nitrato e nitrito detectados no Cemitério Vila Formosa.

Ions maiores.

Como visto anteriormente, as águas do Cemitério Vila Formosa foram classificadas como bicarbonatadas cálcicas. O objetivo da discussão dos achados relativos aos ions maiores não é, naturalmente, constatar problemas de contaminação, mas sim verificar a possibilidade da concentração desses ions ter sido influenciada pela presença do cemitério. Muito mais que para o caso dos produtos nitrogenados, a falta de valores de controle ("background") dificulta esta discussão. No entanto, certos obtidos neste estudo sugerem fortemente que a presença do cemitério afetou de maneira significativa a concentração total de ion. Os principais dados se concentram no poço de monitoramento 05. Embora não tenha sido feita a potenciometria do Cemitério Vila Formosa, o exame do mapa de localização dos poços (em Anexo), aliado a observações feitas no campo, mostra que o poço 05 constitui o ponto de convergência das águas subterrâneas que fluem pelos flancos do vale que se estende por todo o cemitério na direção E-W. Este fato explica

porque o poço 05 se destaca claramente da fonte e dos demais poços quanto à concentração total de ions e, portanto, quanto à condutividade elétrica (ver Fig. 13). Em escala bem menor o mesmo ocorre no poço 09. Restaria explicar como a presença do cemitério pode afetar a concentração de ions. Pelo menos para o cálcio, o cation predominante, uma hipótese poderia ser aventada: a fonte deste elemento seriam os ossos e principalmente a cal (óxido de cálcio) utilizada em grande escala nos cemitérios.

Elementos menores.

A discussão deste tópico limitar-se-á aos elementos que foram encontrados acima dos valores máximos permissiveis para o consumo humano: ferro, cromo, prata, manganês e alumínio. Mais uma vez existe o problema da falta de controle ("background"), mas a própria heteregoneidade dos achados indica que a concentração excessiva daqueles metais se deve à presença do cemitério. A explicação mais provavel seria o desprendimento desses metais dos vernizes, tintas e guarnições, tais como alças, frisos, dentre outras, utilizadas na confecção dos caixões.

13. Conclusões

Os estudos hidroquímicos realizados nas águas subterrâneas do Cemitério Vila Formosa permitem as seguintes conclusões:

1. A presença do cemitério contribuiu para elevar a concentração total de ions (sólidos totais dissolvidos) nas águas subterrâneas da área, sendo a fonte mais provavel do cation que mais se elevou (Ca^{+}) a cal utilizada no cemitério.

2. As águas apresentam concentração excesssiva de produtos nitrogenados, que têm sua origem mais provavel no processo de decomposiçao dos corpos, com participação da contaminação bacteriológica.

3. A presença do cemitério provocou o aparecimento dos seguintes metais: manganês, cromo, ferro, prata e alumínio , em niveis acima dos valores máximos permissiveis para consume humano. Esses metais se originaram provavelmente das tintas, vernizes e guarnições desprendidas dos caixões.

14. Recomendações

Os resultados do presente estudo vêm reforçar a necessidade de serem obedecidos, critérios geológicos e hidrogeológicos na implantação de cemitérios.

Para a escolha do local em que o cemitério será construído são pertinentes as seguintes recomendações:

1. A geologia da região deve ser estudada através de mapas geológicos e topográficos, trabalhos publicados, fotografias aéreas e trabalhos de campo;

2. Devem ser feitas sondagens para os ensaios de permeabilidade, determinação do nível do lençol freático, da direção e sentido do fluxo e caracterização do perfil geológico da área;

3. Deve ser evitada a utilização de regiões cujos solos sejam muitos permeáveis (areia e cascalho), ou constituídos por materiais muito finos (silte e argila), onde prevalecem condições anaeróbicas, e ainda terrenos formados por rochas fraturadas ou cársticas;

4. O nível do lençol freático deve ser o mais baixo possível, pois o ambiente pode tornar-se anaeróbico se os corpos estiverem abaixo do nível d'água;

5. O relevo do local não deve ser muito íngreme, pois a erosão pode expor os sepultamentos à superfície do terreno;

6. Deve ser executado um projeto de drenagem, com vistas à proteção do terreno da erosão.

Uma vez construído o cemitério, poços de monitoramento devem ser implantados no seu interior e nas áreas adjacentes, com objetivo de monitorar tanto o nível do lençol freático como a qualidade da água subterrânea.

15. Aspectos da Legislação

Neste tópico serão revistos brevemente os documentos existentes relativos à legislação que controla a localização de cemitérios. Comentando o assunto, PACHECO & MENDES (1990) chamam a atenção para a importância da legislação contida no Ato nº. 326 , de 21 de março de 1932, regulamentando os cemitérios do Município de São Paulo, e do Código Sanitário Estadual de 1978, que estabelece ser a qualidade das águas competência da Secretaria de Estado da Saúde. Refere-se ainda à seção II do capítulo VII, título III, do livro III (Saneamento das Edificações), do Código Sanitário, que apresenta um texto confuso e parâmetros mal definidos, inviabilizando seu pleno cumprimento . Em 1986 foi aprovada em São Paulo uma Lei municipal (n. 10.097), vetando a construção de cemitérios nas áreas de proteção aos mananciais, sem entretanto proibir a ampliação daqueles pré-existentes nestas áreas.Com o objetivo de estabelecer normas técnicas especiais para implantação de cemitérios no Estado de São Paulo, foi aprovado na Assembléia Legislativa, o Projeto de Lei nº. 299, de 1987. Entretanto, este projeto foi vetado. O melhor dispositivo legal sobre os requisitos básicos para a proteção ambiental quando da implantação de cemitérios foi elaborado pela Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB), através da Norma n. L1.040, de 1989 , intitulada *Construção de Cemitérios: Requsitos Básicos para Proteção Ambiental.* É bom lembrar que nos âmbitos Federal e Municipal, não há legislação específica relacionada à construção de cemitérios.

15. Bibliografia

.ALMEIDA, F. F. M - 1958 - *O Planalto Paulistano*. In: A Cidade de São Paulo. São Paulo, AGB, p. 113-167

ALMEIDA, F. F. M -1964 -Fundamentos Geológicos do Relevo Paulista. Bol. IGG, 41: 167-262.

ALMEIDA, F. F. M - 1976 - The system of continental rifts bordering the Santos Basin, Brazil. An. Acad. bras. Ciências, 48: 15-26.

Aspectos Geológicos e Geotécnicos da Região Metropolitana de São Paulo - 1980 - ABGE/SBG-NSP,São Paulo(Publicação especial) 190p.

BOWER, H. - 1978 - Groundwater Hydrology 1th. ed. New York, McGraw Hill Book Company, 480p.

CETESB - 1993 - LEGISLAÇÃO: ÁGUA PARA CONSUMO HUMANO - POTABILIDADE - FLUORETAÇÃO Série Documentos, São Paulo, 67p.

COUTINHO, J. M. V. - 1980 - Carta Geológica da Região Metropolitana da Grande São Paulo, 1:100.000. São Paulo, Emplasa, 2 folhas.

DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA (DAEE) - 1975 - Estudo das Águas Subterrâneas, Região Administrativa 1, Grande São Paulo, São Paulo, Vol 1, 220p.

DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRIÇA (DAEE) - 1988 -Água Subterrânea, Reserva Estratégica. Rev. Águas e Energia Elétrica, São Paulo, p. 14-23.

GEOLOGIA DA BACIA DE SÃO PAULO - 1989 - IG,USP/SBG-NSP, São Paulo (Workshop), 70p.

GIAMPA, C. E. Q. & SOUZA, J. C. S. - 1984 - Potencial Aqüifero do Cristalino no Estado de São Paulo Anais do 3o. Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, Fortaleza, , p. 277-294.

GIANCURSI, F. D. & LOPES, M. F. C. - 1980 - Aspectos Hidrogeológicos da Região da Grande São Paulo. *Mesa Redonda: Aspectos Geológicos e Geotécnicos da Bacia Sedimentar de São Paulo.* São Paulo, ABGE e SBG (Publicação Especial), p. 117-128.

GOODMAN, L. & GILMAN, A. - 1947 - The Pharmacological Basis of Therapeutics. 15th-ed. The MacMillan Co., New York, p.555.

HASUI, Y & CARNEIRO, C. D. R. - 1980 -Origem e Evolução da Bacia Sedimentar de São Paulo. *Mesa Redonda: Aspectos Geológicos e Geotécnicos da Bacia Sedimentar de São Paulo.* São Paulo, ABGE e SBG (Publicação Especial), p. 5-13.

JULIANI, C. - 1992 -O Embasamento Pré-Cambriano da Bacia de São Paulo. *Mesa Redonda: Problemas Geológicos e Geotécnicos da Região Metropolitana de São Paulo.* São Paulo, ABAS, ABGE e Núcleo São Paulo da SBG, p. 03-20.

KONEFFES, J. - 1991 - Ashes to Arsenic... Dust to Death. Soils, Nov - Dec, 91, p.36.

LEINZ, V. - 1980 - Histórico Resumido das Pesquisas Geológicas da Formação São Paulo.-*Mesa Redonda:Aspectos Geológicos e Geotécnicos da Bacia Sedimentar de São Paulo.* São Paulo, ABGE e SBG (Publicação Especial), p. 1-4.

MATTHESS, G. - 1982 - The properties of groundwater. 1ed. New York, John Wiley & Sons. 406p.

MELO, M. S. de; COIMBRA, A. M.; RICCOMINI, C. - 1989 - Evolução dos conhecimentos sobre a Geologia da Bacia de São Paulo na década de oitenta. *Workshop:Geologia da Bacia de São Paulo.* São Paulo, IG.USP e Núcleo São Paulo da SBG, p. 1-11.

MENDES, J. M. B. - 1989 - Cemitérios e o Meio Ambiente - A Geofísica como método auxiliar na avaliação de sua influência nas águas subterrâneas. 2o. Encontro Nacional de Estudos sobre o Meio Ambiente, Anais, UFSC, Florianópolis-SC, p.50-57.

OSTROWSKY, M. S. B. - 1989 - Urbanização e Controle de Enchentes-O Caso de São Paulo: seus conflitos e inter-relações. São Paulo, USP (Dissertação de Mestrado, Escola Politécnica), 87p.

PACHECO, A. & MENDES, J. M. B. - 1990 - Cemitérios podem contaminar as águas subterrâneas. Revista de Saneamento Ambiental, n.6, p. 31-33.

PACHECO, A.; MENDES, J. M. B.; MARTISN, T.; HASSUDA, S and KIMMELMANN, A. A. - 1991 - Cemiteries - A Potential Risk to Groundwater.Wat. Sci Tech. 24: 97-104.

PARISOT, E. H. - 1983 - As Águas Subterrâneas no Centro Oeste do Município de São Paulo-Características Hidrológicas e Químicas. São Paulo, USP (Dissertação de mestrado, Instituto de Geociências), 93p.

PERSON, J. - 1979 - Interventions Réglementaires du Géologue Agréé en vue de la protection des eaux destinées à l alimentation humaine.Document du BRGM, Marseille, Saint Lambert, 193p.

PROBLEMAS GEOLÓGICOS E GEOTÉCNICOS DA REGIÃO METROPOLKITANA DE SÃO PAULO - 1992 - ABAS/ABGE/SBG-NSP, São Paulo, 290p.

REBOUÇAS, A. C. - 1992 - Condições de Uso e Proteção das Águas Subterrâneas. *Mesa Redonda: Problemas Geológicos e Geotécnicos da Região Metropolitana de São Paulo.* ABAS, ABGE e Núcleo São Paulo da SBG. São Paulo, p. 77-87.

RICCOMINI, C. - 1989 - O Rift Continental do Sudeste do Brasil. São Paulo, USP (Tese de Doutoramento, Instituto de Geociências), 256p.

RICCOMINI, C., COIMBRA, A. M. & TAKIYA, H., - 1992 - Tectônica e Sedimentação na Bacia de São Paulo. *Mesa Redonda: Problemas Geológicos e Geotécnicos da Região Metropolitana de São Paulo.* ABAS, ABGE e Núcleo São Paulo da SBG. São Paulo, p. 21-45.

SMITH, E. L., HILL, R.L.: LEHMAN, I.R.; LEFKOWITZ, R. J.; HANDLER, P. & WHITE, A. - 1983 - Bioquímica: Aspectos Gerais 7a.ed. Guanabara-Koogan S.A., Rio de Janeiro, p.590-592.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE GEOLOGIA ((SBG-SP) e INSTITUTO DE GEOCIÊNCIA DA UNIVERSIDADE DE SAO PAULO - 1989- - workshop: "GEOLOGIA DA BACIA DE SÃO PAULO" 70p.

STANDARD METHODS FOR THE EXAMINATION OF WATER AND WASTEWATER - 1985 - APHA, AWWA, WPCF, l6th ed., Port City Press, Baltimore, p. 373.

TAKIYA, H. ; PELOGGIA, A. U G. ; TOKUTAKI, L. R. ; CAMPOS, J. E. ; OGAWA, A. T. ; KOGA, H. ; MISAWA, W. J. ; RICCOMINI, C. -1989- Arcabouço Estrutural da Bacia de São Paulo .workshop: "Geologia da Bacia de São Paulo". I.G.-USP, SBG/NSP, São Paulo,p. 16-26.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1. Mapa hidrogeológico esquemático da região metropolitana de São Paulo.
p 22

FIGURA 2. Mapa de localização do Cemitério Vila Formosa.
p 25

FIGURA 3. Área de investigação geofísica do Cemitério Vila Formosa.
p 30

FIGURA 4. Esquema do poço de monitoramento.
p 35

FIGURA 5. Variação da temperatura do ar (A) e da água (B) durante o período de monitoramento, e correlação (C) entre as duas variaveis.
p 42

FIGURA 6. Comportamento do nível do lençol freático durante o período de monitoramento.
p 43

FIGURA 7. Variação do pH das águas subterrâneas nos diversos poços durante o período de monitoramento.
p 44

FIGURA 8. Variação da concentração de CO_2 livre nos diversos poços durante o período de monitoramento.
p 45

FIGURA 9. Variação da condutividade elétrica nos diversos poços durante o período de monitoramento.
p 46

FIGURA 10. Variação da concentração de bicarbonato (A), sulfato (B), cloreto (C) e N/nitrato (D) nos diversos poços durante o período de monitoramento.
p 48

FIGURA 11. Variação da concentração de cálcio (A), sódio (B), magnésio (C) e potássio (D) nos diversos poços durante o período de monitoramento.
p 50

FIGURA 12. Classificação química das águas subterrâneas do Cemitério Vila Formosa no Diagrama de Piper.
p 51

FIGURA 13. Correlação entre o total de íons e a condutividade elétrica das diversas amostras de água.
p 52

LISTAS DE TABELAS

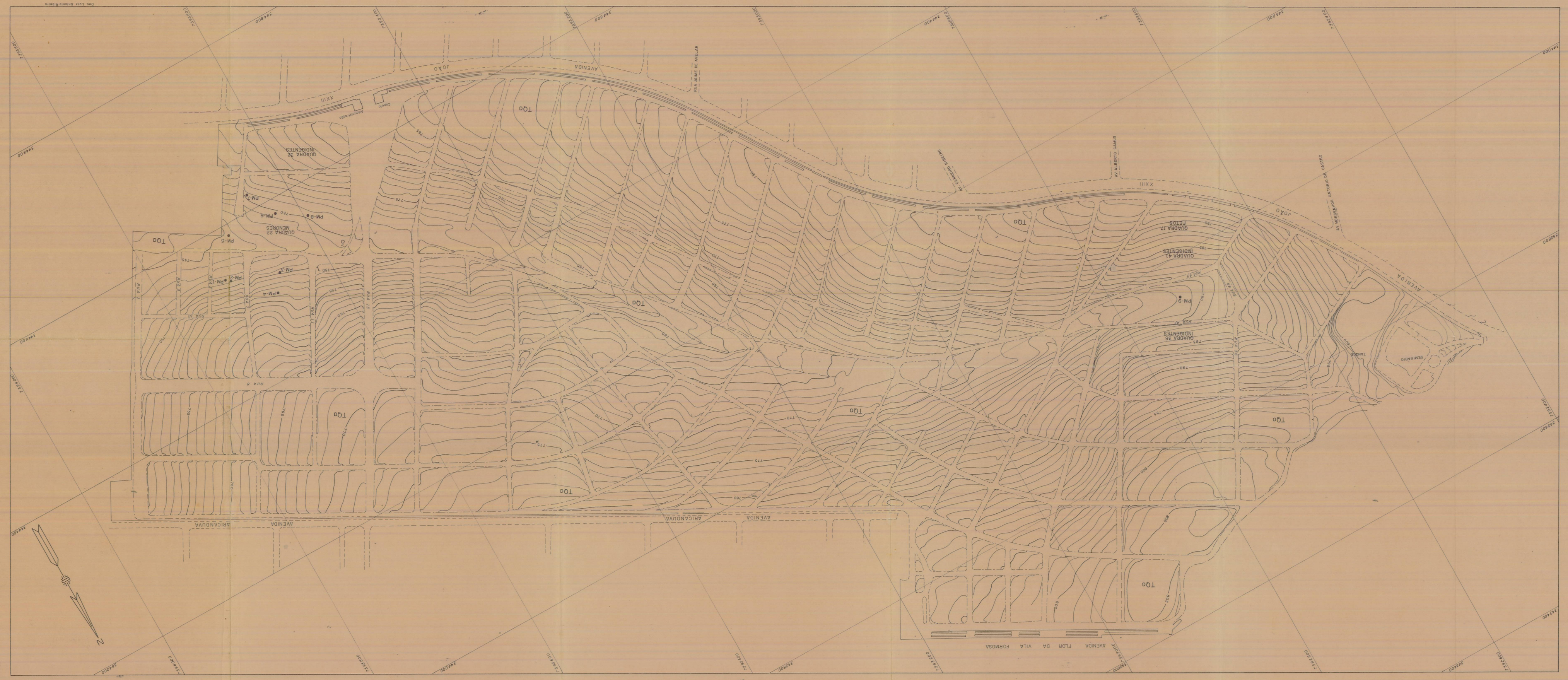
TABELA 1. Decaimento do número de bactérias com a distância.
p 15

TABELA 2. Análise bacteriológica de águas subterrâneas do Cemitério Vila Formosa.
p 33

TABELA 3. Resultados da análise fisico-química das águas subterrâneas do Cemitério Vila Formosa.
p 56

TABELA 4. Resultados das medidas da concentração dos íons maiores das águas subterrâneas do Cemitério Vila Formosa.
p 57

TABELA 5. Elementos encontrados em menor concentração nas águas subterrâneas do Cemitério Vila Formosa.
p 58



Des. Luiz Arnaldo Ribeiro

ESCALA GRÁFICA
1:2000

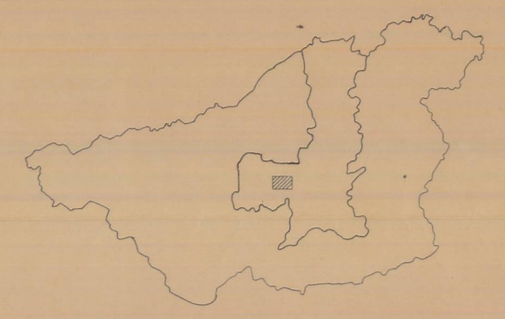
20 0 20 40 60 80 100m

FONTES: EMPLASA, FOLHAS PARQUE MARIA LUIZA (SF-23-Y-C-XII-2-NE-D-II-4);
JARDIM VILA FORMOSA (SF-23-Y-C-XII-2-NE-D-IV-1), TRUMAIN (SF-23-Y-
C-XI-2-NE-D-III-3), NA ESCALA 1:2000

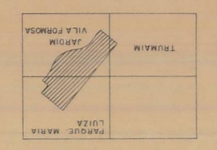
LOCALIZAÇÃO DOS POÇOS DE MONITORAÇÃO NO CEMITÉRIO VILA FORMOSA

AUTOR: RENATO BLAT MIGLIORINI

- 1993 -



LOCALIZAÇÃO DA AREA DE ESTUDO NA REGIÃO METROPOLITANA DA GRANDE SÃO PAULO



ARTICULAÇÃO DAS FOLHAS
E AREA DE ESTUDO

LEGENDA

PM-1 POÇO DE MONITORAMENTO.

6 FONTE

TOa Em SÃO PAULO (ARGILAS, AREIAS E CASCALHOS)

BIBLIOTECA
Instituto de Geociências
U.S.P.
4882