

ESTUDO FÍSICO-QUÍMICO E QUÍMICO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DO CEMITÉRIO
VILA FORMOSA, SÃO PAULO-SP.

* RENATO BLAT MIGLIORINI

** ANNKARIN AURÉLIA KIMMELMANN E SILVA

** ALBERTO PACHECO

RESUMO

O presente trabalho visou investigar parâmetros indicadores de contaminação química das águas subterrâneas da área do Cemitério Vila Formosa em São Paulo-SP.

Os resultados das análises físico-químicas e químicas das águas subterrâneas do cemitério permitiram as seguintes conclusões: a presença do cemitério contribuiu para elevar a concentração de sólidos totais dissolvidos nas águas subterrâneas; provocou o aparecimento dos seguintes metais (Mn, Cr, Fe, Ag e Al) em níveis acima dos valores máximos permissíveis para o consumo humano; também foi detectada concentração excessiva de produtos nitrogenados (nitrato, nitrito e amônia).

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 substâncias químicas liberadas. Esta água contaminada, por sua vez, frequentemente acaba sendo utilizada pelas populações vizinhas às necrópoles. Considerando que, na construção da maioria destes cemitérios, não foram levados em conta estudos geológicos e hidrogeológicos, os mesmos podem constituir-se em alto potencial de risco de contaminação para as águas subterrâneas.

Tendo em vista esta situação problemática, neste trabalho foi realizado um estudo hidroquímico das águas subterrâneas de um cemitério, através do monitoramento de suas características físico-químicas e químicas. O cemitério escolhido (Cemitério Vila

* Professor do Departamento de Geologia Geral - UFMT, Cuiabá-MT.

** Professores do Instituto de Geociências - USP - CEPAS, S. Paulo-SP

Formosa) que se localiza na área metropolitana de São Paulo, é o maior cemitério da América do Sul e um dos maiores do mundo, com uma área de 763.175m². Foi contruído na Bacia Sedimentar de São Paulo, a qual abriga a maior parte da área urbana da Grande São Paulo, e tem grandes recursos de água subterrânea explorados por poços para abastecimento humano.

ÁREA DE INVESTIGAÇÃO

O Cemitério Vila Formosa está localizado na zona leste da cidade de São Paulo. Geologicamente está situado em sedimentos terciários da Baacia 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 et al (1989), a profundidade do pacote sedimentar no Cemitério Vila Formosa foi determinado entre 35 e 40m. A profundidade do nível d'água foi determinado entre 4 e 12m. Este comportamento irregular do nível d'água sugere a existência de aquíferos suspenso na área compreendida pela sondagem geofísica.

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

METODOLOGIA

O monitoramento consistiu na amostragem periódica das águas subterrâneas de seis poços de monitoramento e uma fonte. 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 químicas.

Foram determinados em laboratórios: cloro, magnésio, potássio, sódio, cálcio, nitrato, nitrito, amônia, bário, fósforo, silício, arsênio, fluor, manganês, cádmio, ferro, níquel, cromo, zinco, prata, alumínio, cobre, chumbo e boro.

As análises químicas foram executadas nos seguintes laboratórios:

- Laboratório de Química Inorgânica do CEPAS no Instituto de Geologia da USP; Laboratório de Radioquímica e Química Analítica do Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA), Piracicaba, SP; Laboratório de Espectroscopia de Emissão Atômica no Instituto de

Química da USP, São Paulo-SP e o Laboratório de Química II do Departamento de Mineralogia e Petrologia do Instituto de Geociências da USP, São Paulo-SP.

RESULTADOS

Os valores máximos permissíveis (VMP) para o consumo humano foram considerados, para efeito de interpretação, os parâmetros estabelecidos pela Portaria de número 36 de 19/01/1990 do Ministério da Saúde e pelo Decreto Estadual de número 12.486 de 20/10/1978 (CETESB, 1993).

FONTE: As amostras obtidas na fonte apresentam as seguintes características: concentrações elevadas de compostos nitrogenados. O maior 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 níveis altos de nitrito e nitrato. O nitrito alcançou 20 vezes o VMP e o nitrato quase 10 vezes. Além disso foram encontrados níveis elevados de cromo e alumínio (quase 60 vezes o VMP).

POÇO 05: Chama 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 notável neste poço a alta concentração de íons bicarbonato, cálcio e magnésio, bem acima daquela encontrada nos poços de monitoramento. As concentrações de bicarbonato ultrapassaram o VMP. A alta concentração destes íons reflete-se nos altos valores de condutividade elétrica, e, portanto, na quantidade de sólidos totais dissolvidos, que são também muito maiores que aquela detectada nos demais pontos de coleta.

POÇO 06: Altos níveis 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 02 a 03 vezes o VMP. O cromo e o alumínio também foram encontrados em concentrações acima do VMP.

POÇO 08: Foram encontrados 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 (05 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 íons resulta num aumento da condutividade e, portanto, dos sólidos totais dissolvidos.

DISCUSSÃO E INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS

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 produtos nitrogenados, fortemente sugestivas de contaminação química destas águas pela presença do cemitério.

PRODUTOS NITROGENADOS: em condições normais a amônia se encontra em concentrações muito baixas (menor que 10mg/l de nitrogênio) em águas subterrâneas, em virtude de ser adsorvida pelas partículas dos solos, principalmente pelas argilas, e também por não ser facilmente lixiviadas (Standard Methods For Examination of Water and Wastewater, 1985). Por outro lado, não ocorre em condições naturais redução de nitrato e nitrito à amônia nas águas subterrâneas, sendo a amônia geralmente produzida por decomposição de compostos orgânicos. Estudos paralelos a este demonstraram contaminação bacteriológica nas águas subterrâneas do Cemitério Vila Formosa (PACHECO et al 1991). Parece inescapável, portanto, a conclusão de que a amônia detectada na fonte e, principalmente, nos poços 06 e 09, provém da decomposição bacteriana dos corpos. 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 da 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 íon ser muito instável, sendo rapidamente oxidado a nitrato. Por outro lado, certas bactérias, inclusive as coliformes, têm a capacidade de produzir nitrito por redução de nitrato. Este ânion foi encontrado em concentrações relativamente altas nos poços 04 e 05, especialmente neste. As

concentrações muito baixas, menores que o mínimo detectável pelo método utilizado 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.

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 fonte 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 devidas à decomposição orgânica. As diferenças entre os diversos poços, bem como num mesmo poço em épocas diferentes, deve-se provavelmente ao já mencionado ciclo de sepultamentos e à localização dos túmulos.

O valor máximo permissível de nitrato e nitrito na água para o consumo humano (10 e 0.02 mg/l de nitrogênio, respectivamente) foi estabelecido para prevenir a metahemoglobinemia. Este fato mostra o risco de saúde pública representado pelos altos índices de nitrato e nitrito detectados no Cemitério Vila Formosa.

IONS MAIORES: As águas do Cemitério Vila Formosa foram classificadas como bicarbonatadas cálcicas.

Certos achados, neste estudo sugerem fortemente que a presença do cemitério afetou de maneira significativa a concentração total de ions. Os principais dados se encontram no poço de monitoramento 05. Embora não tenha sido feita a potenciometria deste cemitério, o mapa topográfico da área, aliado a observações feitas no campo, mostra que o poço 05 constitui 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. 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 cátion predominante, uma hipótese pode ser aventada: a fonte deste elemento seria os ossos encontrados no cemitério.

ELEMENTOS MENORES: A discussão deste tópico limitar-se-á aos elementos que foram encontrados acima do VMP para o consumo humano: ferro, cromo, prata, manganês e alumínio. A própria heterogeneidade

dos achados indica que a concentração excessiva daqueles metais se deve à presença do cemitério. A explicação mais provável seria o desprendimento desses metais dos vernizes, tintas e guarnições, tais como alças, frisos, dentre outras, utilizadas nas confecções dos caixões.

CONCLUSÕES

A presença do cemitério contribuiu para elevar a concentração total de ions (sólidos totais dissolvidos) nas águas subterrâneas da área, sendo a fonte mais provável do cátion que se elevou (cálcio) aos ossos encontrados no cemitério.

As águas apresentam concentração excessiva de produtos nitrogenados (nitrato, nitrito e amônia), que tem sua origem mais provável no processo de decomposição dos corpos, com participação da contaminação bacteriológica.

A presença do cemitério provocou o aparecimento dos seguintes metais: manganês, cromo, ferro, prata e alumínio, em níveis acima do VMP para o consumo humano. Esses metais se originaram provavelmente das tintas, vernizes e guarnições desprendidas dos caixões.

BIBLIOGRAFIA

- CETESB - 1993 - LEGISLAÇÃO: ÁGUA PARA O CONSUMO HUMANO - POTABILIDADE - FLUORETAÇÃO, Série Documentos, São Paulo, 67p.
- MENDES, J.M.B.; PACHECO, A. e HASSUDA, S. -1989 - Cemitérios e o Meio Ambiente - A Geofísica como método auxiliar na avaliação de sua influência nas águas subterrâneas. Segundo Encontro Nacional de Estudos sobre o Meio Ambiente, Anais, UFSC, Florianópolis-SC, p.50-57.
- PACHECO, A. & MENDES, J.M.B. - 1990 - Cemitérios podem contaminar as águas subterrâneas. Revista de Saneamento Ambiental, número 06, p.31-33.
- PACHECO, A.; MENDES, J.M.B.; MARTINS, T.; HASSUDA, S. and KIMMELMANN, A.A. - 1991 - Cemeteries - A Potential Risk to Groundwater. Wat. Sci. Tech. 24: 97-104.
- STANDARD METHODS FOR THE EXAMINATION OF WATER AND WASTEWATER - 1985 - APHA, AWWA, WPCF, 16th ed., Port City Press, Baltimore, p.373.

TABELA 1. Resultados da análise físico-química das águas subterrâneas do Cemitério Vila Formosa.

Data de Coleta	n. dos PM	t. Água (C°)	t. Ar (C°)	N. d'Água (m)	pH	C. E. (µS/cm)	CO ₂ 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	5.13	169.00	80.30
MÉDIAS	Fonte	21.69	23.67	0.00	5.50	167.67	92.77
06/03/89	PM04	21.00	24.00	-5.20	4.21	370.00	129.80
15/05/89	PM04	24.00	23.00	-5.50	4.91	210.00	99.00
23/06/89	PM04	20.00	20.00	-5.46	4.62	192.00	117.70
17/09/89	PM04	20.00	18.00	-5.40	4.24	146.00	121.00
MÉDIAS	PM04	21.25	21.25	-5.39	4.50	229.50	116.88
06/03/89	PM05	23.00	24.00	-1.30	6.81	940.00	154.00
15/05/89	PM05	22.80	23.00	-1.45	6.74	670.00	-
23/06/89	PM05	20.00	22.00	-1.55	6.81	570.00	77.00
17/09/89	PM05	19.00	16.00	-1.30	6.79	990.00	207.90
MÉDIAS	PM05	21.20	21.25	-1.40	6.79	792.50	146.30
06/03/89	PM06	23.00	24.00	-0.69	6.61	340.00	105.60
15/05/89	PM06	22.60	23.00	-1.03	6.78	300.00	-
23/06/89	PM06	20.00	22.00	-1.15	6.82	270.00	145.20
17.09.89	PM06	18.00	18.00	-1.15	6.64	330.00	156.20
MÉDIAS	PM06	20.90	21.75	-1.01	6.71	310.00	135.67
06/03/89	PM07	23.00	24.00	-2.50	4.67	163.00	86.90
15/05/89	PM07	24.00	23.00	-2.45	5.22	140.00	86.90
23/06/89	PM07	20.00	22.00	-2.50	5.07	115.00	79.20
17/09/89	PM07	19.00	18.00	-2.60	4.71	128.00	86.90
MÉDIAS	PM07	21.50	21.75	-2.51	4.92	136.50	84.98
06/03/89	PM08	22.50	24.00	-0.65	6.59	360.00	57.20
15/05/89	PM08	22.50	23.00	-1.00	6.60	270.00	-
23/06/89	PM08	19.00	22.00	-1.05	6.59	250.00	159.50
17/09/89	PM08	18.00	18.00	-1.05	6.76	290.00	143.00
MÉDIAS	PM08	20.50	21.75	-0.94	6.63	292.50	119.90
06/03/89	PM09	22.50	24.00	-1.00	6.68	470.00	147.90
15/05/89	PM09	22.00	25.00	0.00	6.63	330.00	-
23/06/89	PM09	19.00	20.00	0.00	6.64	320.00	193.60
17/09/89	PM09	17.00	16.00	0.00	6.34	270.00	19.80
MÉDIAS	PM09	20.13	21.25	-0.25	6.57	347.50	120.27
VMP					4-10		

VMP: valores máximos permissíveis para o consumo humano.

TABELA 2. 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/NO ₃ ⁻ mg/l	HCO ₃ ⁻ mg/l	Cl ⁻ mg/l	SO ₄ ⁻ mg/l	STD mg/l
19/09/88	Fonte	1.30	17.61	1.73	6.52	9.92	24.40	18.8	9.0	103.3
28/09/88	Fonte	1.25	18.04	1.75	6.69	5.86	48.80	18.2	5.2	-
16/01/89	Fonte	0.80	21.86	2.17	8.98	5.50	34.90	18.4	7.9	113.7
15/05/89	Fonte	1.11	20.00	1.90	7.39	18.88	19.10	27.7	10.0	109.8
MÉDIAS	Fonte	1.12	19.38	1.89	7.40	10.79	31.80	20.8	8.0	108.9
06/03/89	PM04	7.38	4.79	2.78	23.45	8.08	71.20	10.7	19.0	240.5
15/05/89	PM04	9.95	5.80	5.00	22.59	98.33	44.70	6.5	0.5	136.5
23/06/89	PM04	15.72	3.40	6.00	21.85	25.04	95.40	1.8	21.6	124.8
17/09/89	PM04	4.72	5.60	1.20	18.52	-	67.50	-	20.0	94.9
MÉDIAS	PM04	9.44	4.90	3.75	21.60	43.82	69.70	6.3	15.3	149.2
06/07/89	PM05	28.29	7.07	12.2	155	1.99	494.1	23.1	125.4	611.0
15/05/89	PM05	23.95	9.00	18.5	87.5	1.42	445.3	14.5	2.9	435.5
23/06/89	PM05	65.51	2.80	2.60	79.0	0.83	555.1	7.0	0.3	370.5
17/09/89	PM05	46.21	10.50	14.50	76.81	-	518.5	-	-	643.5
MÉDIAS	PM05	40.99	7.34	11.95	99.66	1.41	503.2	14.9	42.9	515.3
06/03/89	PM06	2.39	11.67	2.49	19.99	<0.01	81.1	13.7	2.3	221.0
15/05/89	PM06	2.31	11.60	2.30	11.57	1.42	40.30	20.5	0.5	195.0
23/06/89	PM06	8.79	11.00	2.40	12.01	0.55	83.10	9.2	0.2	175.5
17.09.89	PM06	3.07	12.50	2.40	14.24	-	80.00	-	-	214.5
MÉDIAS	PM06	4.14	11.69	2.40	14.45	0.66	71.13	14.4	0.9	201.5
06/03/89	PM07	1.84	7.54	1.85	9.96	7.93	55.1	7.6	<0.02	105.9
15/05/89	PM07	1.80	9.80	1.80	10.35	37.77	35.90	10.5	nd	91.0
23/06/89	PM07	4.22	10.50	1.60	10.19	20.83	63.90	7.87	2.3	74.7
17/09/89	PM07	1.04	12.00	1.90	9.77	-	56.70	-	-	83.2
MÉDIAS	PM07	2.23	9.96	1.79	10.07	22.18	52.90	8.68	0.77	88.7
06/03/89	PM08	2.57	13.88	3.99	19.08	<0.01	89.10	18.2	4.6	234.0
15/05/89	PM08	2.31	14.50	2.60	18.53	0.57	93.70	20.5	0.26	175.7
23/06/89	PM08	1.40	14.50	2.50	15.77	0.41	81.30	12.5	0.76	162.5
17/09/89	PM08	1.49	16.50	2.40	14.71	-	115.9	-	-	188.5
MÉDIAS	PM08	1.94	14.85	2.87	17.02	0.33	95.0	17.08	1.86	190.2
06/03/89	PM09	11.07	5.09	3.25	43.6	<0.01	211.1	10.1	<0.02	305.5
15/05/89	PM09	10.32	11.00	1.50	46.35	0.14	207.4	5.8	7.82	214.5
23/06/89	PM09	11.10	11.20	1.50	43.88	0.16	215.9	8.71	0.46	208.0
17/09/89	PM09	12.50	13.00	1.30	37.08	-	206.1	-	-	175.5
MÉDIAS	PM09	11.25	10.07	1.89	42.73	0.10	210.13	8.2	2.76	225.9
VMP			200.0			10.	205.	205.	250.	1000.

-: Amostras não analisadas

nd: Valores não detectados

VMP: Valores Máximos Permissíveis para o consumo humano

TABELA 03. Elementos encontrados em menor concentração nas águas subterrâneas do Cemitério Vila Formosa.

Data de coleta	n. dos PM	N/NH ₄ ⁺ mg/l	N/NO ₂ ⁻ 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	<0.2	<0.01	0.12	4.00	<0.1	<0.01	<0.02	<0.00
06/03/89	PM04	<0.2	0.40	0.26	0.85	<0.10	0.03	<0.02	0.03
06/03/89	PM05	<0.2	2.52	0.48	4.75	<0.10	0.02	<0.02	0.08
06/03/89	PM06	4.55	<0.01	0.29	1.06	<0.10	0.13	<0.02	0.15
06/03/89	PM07	<0.2	<0.01	0.27	1.09	<0.10	0.04	<0.02	<0.02
06/03/89	PM08	0.54	<0.01	0.26	0.76	<0.10	0.15	<0.02	<0.02
06/03/89	PM09	7.59	<0.01	0.09	2.25	<0.10	0.02	<0.02	<0.02
V. M. P.		0.05	0.02	1			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
10/09/88	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	PM04	<0.02	0.17	0.16	<0.05	5.85	<0.02	nd
06/03/89	PM05	<0.02	0.63	<0.02	<0.05	<0.10	<0.02	nd
06/03/89	PM06	<0.02	0.08	<0.02	<0.05	<0.10	<0.02	nd
06/03/89	PM07	<0.02	0.08	0.03	<0.05	0.16	<0.02	nd
06/03/89	PM08	<0.02	0.07	<0.02	<0.05	<0.10	<0.02	nd
06/03/89	PM09	<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