

QUALIDADE DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NO ESTADO DE SÃO PAULO

Elzira Déa Alves Barbour¹; Claudio L. Dias¹;
Dorothy C. Pinatti Casarini¹ & Mara Magalhães G. Lemos¹

Resumo - A água subterrânea tem importante papel no abastecimento no Estado de São Paulo: 72% dos municípios são total ou parcialmente abastecidos por esse recurso hídrico[1].

A CETESB, cumprindo suas atribuições de prevenção e controle de poluição e atendendo à Lei Estadual 6.134/88 regulamentada pelo Decreto nº 32.955/91, realiza desde 1990, monitoramento da qualidade da água dos sistemas aquíferos do Estado.

A rede de monitoramento é composta de 162 pontos de amostragem distribuídos em diferentes aquíferos, sendo realizadas coletas semestrais de amostras de água para determinação de 40 parâmetros.

Os Sistemas Aquíferos monitorados são: Guarani, Bauru, Tubarão, Serra Geral, Taubaté e Cristalino. Os resultados indicam boa qualidade das águas, podendo-se, entretanto, constatar indícios de contaminação por alguns parâmetros que ultrapassaram em pelo menos uma vez os padrões estabelecidos pela Portaria MS Nº 518/2004.

Foi possível propor valores de referência de qualidade para substâncias inorgânicas e monitorar substâncias orgânicas tóxicas na Região Metropolitana de São Paulo.

Esse trabalho apresenta os resultados de monitoramento no triênio 2001-2003 e discute a possibilidade das substâncias encontradas na água subterrânea terem origem antrópica ou natural.

Abstract - Groundwater plays an important role in the supply of the State of São Paulo: 72% of the towns are totally or partially supplied by this hydric resource.

The Pollution Control Agency of the State of Sao Paulo-CETESB has been monitoring, since 1990, the quality of water of the aquifer systems of the State.

The monitoring net is composed by 162 wells located in different aquifers, where samples are collected twice a year for the determination of 40 parameters. The monitored aquifer systems are the following: Guarani, Bauru, Tubarão, Serra Geral, Taubaté and Cristalino. The results show the good quality of the water to the human consumption but signs of contamination were identified in

¹ CETESB. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. Av. Prof. Frederico Hermann Jr. 345. Pinheiros. São Paulo. CEP 05459-900. Tel (11) 30306033. Email elzirab@cetesb.sp.gov.br

some of the wells, mainly in Bauru Aquifer, which is more susceptible to contamination than other aquifers, because its largest area of outcrops.

It was possible to propose quality reference values for groundwater for inorganic substances and to monitor toxic organic substances in the Metropolitan Region of Sao Paulo.

This study shows the monitoring results in the period between 2001-2003 and discusses the origin of the substances found in the groundwater.

Palavras-Chave - poço de abastecimento; hidrogeoquímica; qualidade.

INTRODUÇÃO

O monitoramento da qualidade da água subterrânea no Estado de São Paulo iniciou-se em julho de 1990, com vistas à caracterização e avaliação da qualidade das águas subterrâneas destinadas ao abastecimento público. Os primeiros poços selecionados foram aqueles que captavam água de sistemas aquíferos mais vulneráveis à contaminação: Guarani, Bauru Serra e Geral [2]. No período entre 2001 e 2003, considerando o crescimento populacional, urbano e industrial do Estado, o monitoramento foi realizado em 162 pontos de amostragem, selecionados de forma a abranger os principais sistemas aquíferos do Estado, conforme observado na Figura 1, incluindo, além dos poços de abastecimento público, poços e nascentes de águas minerais na Região Metropolitana de São Paulo - RMSP, bem como poços particulares de abastecimento industrial e usos diversos [3].

O monitoramento da qualidade da água subterrânea, realizado pela Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental - CETESB, não tem o propósito de avaliar a qualidade da água servida à população cuja atribuição é da Secretaria da Saúde e responsabilidade das concessionárias de água. O objetivo é caracterizar a qualidade da água bruta de forma a subsidiar as ações executadas pela CETESB na prevenção e controle da poluição.

Esse trabalho apresenta a metodologia e os resultados do monitoramento da qualidade das águas subterrâneas realizado pela CETESB no triênio 2001-2003 e sua interpretação estatística para avaliação da qualidade das águas dos principais aquíferos do Estado e comparação com os dados históricos. Apresenta também a interpretação dos dados por Unidade de Gerenciamento dos Recursos Hídricos - UGHRI, visando atender o preconizado pela Lei Federal Nº 9.934/94 e pela Lei Estadual 7.663/91 que estabeleceram respectivamente, a Política Federal e a Estadual dos Recursos Hídricos.



Figura 1 – Localização dos pontos de amostragem no Estado de São Paulo

METODOLOGIA

Para avaliação da qualidade da água subterrânea, a CETESB seleciona pontos de amostragem, realiza coleta de amostras segundo procedimentos descritos em [4] para exames de laboratório nos meses de março e setembro e interpreta estatisticamente os resultados relativos a um triênio.

Seleção de pontos de amostragem e parâmetros

Os pontos de amostragem são selecionados por meio da avaliação dos perfis construtivos dos poços, escolhendo-se aqueles que captam águas de um único aquífero, ou pelo menos, de um sistema aquífero.

Tem-se procurado aumentar a malha de amostragem nas regiões já monitoradas e também incluir pontos em outras regiões do Estado. Em 2002, iniciou-se a seleção de pontos de monitoramento da RMSP, utilizando-se de poços de abastecimento público e industrial e também poços e fontes de águas minerais.

A descrição dos pontos de monitoramento encontra-se no Relatório de Qualidade de Águas Subterrâneas do Estado de São Paulo 2001–2003, publicado pela CETESB em abril de 2004 e disponível no endereço www.cetesb.sp.gov.br.

Os parâmetros determinados são escolhidos visando a caracterização da hidrogeoquímica natural das águas subterrâneas, bem como indicadores de efeitos antrópicos. No triênio 2001-2003 foram determinados: Temperatura, pH, Boro (B), Condutividade Elétrica, Cálcio (Ca^{2+}), Cloreto (Cl^-), Cobalto (Co), Cobre (Cu) Cromo Total (Cr), Dureza Total, Ferro Total (Fe), Fluoreto (F^-), Nitrogênio Amoniacal (NH_4^+), Nitrogênio Nitrato (NO_3^-), Nitrogênio Total Kjeldahl, Potássio (K^+), Sólidos Dissolvidos Totais, Resíduo Seco à 180°C, Alcalinidade Hidróxido, Alcalinidade Bicarbonato, Alcalinidade Carbonato, Alumínio (Al), Arsênio (As), Bário (Ba), Cádmio (Cd), Carbono Orgânico Dissolvido, Chumbo (Pb), Dureza de Magnésio, Dureza de Cálcio, Magnésio (Mg), Manganês (Mn), Mercúrio (Hg), Níquel (Ni), Selênio (Se), Sódio (Na), Sulfato (SO_4), Vanádio (Va), Contagem Padrão de Bactérias, Coliformes Totais, Coliformes Fecais.

Para a RMSP, estão sendo determinados também: 1,2 Dicloroetano, Tetracloroetileno, Cloreto de Vinila, Cloróformio e Benzeno, tendo em vista o histórico de industrialização da região.

As determinações analíticas foram realizadas nos laboratórios da CETESB de acordo com Standard Methods of Examination of Water and Waste Water [5].

Avaliação e tratamento estatístico dos dados

Os resultados analíticos do triênio 2001-2003 foram compilados em planilhas eletrônicas para avaliação de consistência dos dados a partir de análise estatística descritiva, retirando-se aqueles resultados considerados discrepantes.

Para os resultados não detectados, adotou-se o limite de quantificação como a concentração do parâmetro na amostra. Devido ao elevado limite de quantificação do sulfato, não foi possível realizar uma avaliação estatística desse parâmetro, bem como não pode ser calculado o erro analítico das análises.

Realizou-se também uma avaliação temporal dos resultados, visando observar a evolução dos parâmetros monitorados em relação aos anos anteriores.

Os resultados obtidos foram comparados com os padrões de potabilidade da Portaria nº 518, de 26.03.2004, do Ministério da Saúde, para avaliação dos possíveis alterações da qualidade da água subterrânea.

Foram calculados os seguintes parâmetros estatísticos: mínimo, máximo, mediana e 3º quartil, este último, utilizado para definir valores de referência de qualidade das águas subterrâneas.

RESULTADOS

Os resultados obtidos no monitoramento demonstram que as águas subterrâneas têm boa qualidade para consumo humano e devem ser preservadas para essa finalidade. Apesar disto, foram observados casos pontuais de presença de metais, além dos parâmetros microbiológicos, ultrapassando os padrões de potabilidade, indicando contaminação.

Resultados por Sistema Aquífero e por Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos

A Tabela 1 apresenta, por sistema aquífero, o valor do 3º quartil dos resultados obtidos no período 2001-2003, em comparação com aqueles obtidos no período anterior. Observa-se, como esperado, pouca variação.

As Tabelas 2 a 7 apresentam os resultados para algumas substâncias, por Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos e por Sistemas Aquíferos. Estas substâncias foram selecionadas por serem aquelas que apresentaram as maiores variações.

Tabela 1 - Resultados do 3º quartil, por Sistema Aquífero, nos períodos 1998-2000 e 2001-2003.

PARÂMETRO	UNIDADE	GUARANI		BAURU		TUBARÃO		TAUBATÉ		SERRA GERAL		CRISTALINO	
		98/00	01/03	98/00	01/03	98/00	01/03	98/00	01/03	98/00	01/03	98/00	01/03
pH	--	7,6	7,0	7,7	7,7	9,0	8,9	7,4	7,1	8,0	8,1	7,9	7,7
Temperatura	°C	28	29	26	25	26	26	26	26	26	27	24	23
Condutividade Elétrica	µS/cm	153	160	238	247	452	407	148	164	159	174	251	252
Sólidos Dissol. Totais	mg/L	115	118	201	197	372	417	163	160	139	146	195	201
Resíduo Seco 180°C	mg/L	121	111	193	196	331	285	145	164	135	135	180	184
Dureza Total	mg/L CaCO ₃	62	56	112	101	60	66	45	42	56	58	82	102
Alcal. Bicarbonato	mg/L CaCO ₃	87	78	117	108	156	150	74	77	85	79	98	104
Alcal. Carbonato	mg/L CaCO ₃	0	0	0	0	17	2	0	0	0	0	0	0
Alcal. Hidróxido	mg/L CaCO ₃	0	0	0	0	0	0	60	0	0	0	0	0
Alumínio Total	mg/L Al	0,03	0,02	0,05	0,04	0,035	0,03	<0,01	<0,15	0,04	0,03	0,02	0,04
Arsênio Total	mg/L As	<0,002	<0,002	<0,002	0,002	<0,002	<0,002	0,003	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	0,006
Bário Total	mg/L Ba	<0,4	<0,08	<0,4	0,25	<0,4	0,08	<0,4	0,14	<0,4	<0,08	<0,4	<0,08
Boro	mg/L B	--	<0,03	--	<0,03	--	<0,03	--	<0,03	--	<0,03	--	<0,03
Carb Org. Dissolvido	mg/L C	10,9		15,6		22,6	6,4	14,0	7,5	12,6	5,2	19,05	
Cálcio total	mg/l Ca	18,8	17,2	29,3	27,0	18,7	22,9	14,1	20,7	17,2	15,6	30,0	32,0
Cádmio Total	mg/L Cd	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,0004	<0,0001	0,0035	<0,005	<0,0001	<0,0001	0,0002	<0,0001
Cloreto	mg/L Cl	1,5	1,0	6,5	4,7	16,2	16,3	1,7	1,3	1,5	1,5	3,6	4,4
Chumbo Total	mg/L Pb	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	0,002	<0,002	<0,04	<0,002	<0,002	<0,002	0,002
Cobre	mg/L Cr	--	<0,01	--	<0,01	--	<0,01	--	<0,01	--	<0,01	--	<0,01
Cobalto	mg/L Cu	--	<0,01	--	<0,01	--	<0,01	--	<0,01	--	<0,01	--	<0,01
Cromo Total	mg/L Co	0,0028	0,004	0,04	0,04	<0,0005	0,0005	0,010	<0,005	0,003	0,004	0,0006	0,002
Ferro Total	mg/L Fe	<0,12	<0,02	<0,120	0,03	<0,12	0,02	0,29	0,12	<0,12	0,02	<0,12	0,07
Fluoretos	mg/L F	0,20	0,24	0,30	0,27	0,80	0,55	0,41	0,30	0,18	0,26	0,7	0,65
Magnésio Total	mg/L Mg	4,13	3,9	9,9	8,3	3,35	3,85	1,17	0,73	4,6	4,6	5,36	6,3
Manganês Total	mg/L Mn	<0,009	<0,006	<0,009	<0,006	<0,009	0,003	0,075	0,080	<0,009	<0,006	0,009	0,0012
Mercurio Total	mg/L Hg	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0001	<0,0003	<0,0001	<0,0003	0,0004	<0,0003	<0,0001	<0,0003	<0,0001
Nitrogênio Nitrato	mg/L N	0,23	0,3	1,14	1,87	<0,2	<0,2	0,012	0,04	0,30	0,45	0,20	0,30
Nitrog.Total Kjeldhal	mg/L N	0,08	0,15	0,06	0,15	0,39	0,38	0,50	0,2	0,08	0,15	0,30	0,33
Níquel	mg/L Ni	--	<0,02	--	<0,02	--	<0,02	--	<0,02	--	<0,02	--	<0,02
Potássio	mg/L K	4,0	4,2	4,9	4,5	2,5	2,4	4,8	3,6	2,5	2,6	3,2	3,0
Selênio	mg/L Se	--	0,002	--	0,002	--	0,002	--	0,002	--	0,002	--	0,002
Sódio Total	mg/L Na	6,9	7,4	15,0	15,0	103	89	19,7	16,8	17,5	14,0	16,0	16,0
Vanádio	mg/L V	--	<0,02	--	<0,02	--	<0,02	--	<0,02	--	<0,02	--	<0,02
Zinco	mg/L Zn	--	<0,01	--	<0,01	--	<0,01	--	<0,01	--	<0,01	--	<0,01
Contagem Bactérias	UFC/mL	21	6	38	1	13	10	1	1	25	5	20	35
Coliforme Total	NCMF/100mL	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Coliforme Fecal	P/A/100mL	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Fonte: CETESB, 2004 [3]

Tabela 2 - Resultados do 3º quartil para o Sistema Aquífero Bauru por UGRHI

UGRHI	PARÂMETROS														Nº de poços
	pH	Temp. C°	STD mg/L	C.E. µS/cm	Cl mg/L	Dureza mg/L	Na mg/L	N-NO ₃ mg/L	Fe mg/L	F mg/L	Mn mg/L	Cr mg/L	Ba mg/L	Contag. bactér. UFC/ml	
9	8,1	25	146	217	2,4	92	12,2	0,05	<0,02	0,30	<0,006	0,030	0,12	16	1
15	7	24	197	248	3,5	105	14,8	2,3	0,02	0,03	<0,006	0,030	0,20	5	14
16	7	25	118	164	2,9	60	7,0	3,55	0,03	0,22	0,008	0,050	0,20	0	4
17	7,6	29	163	222	1,0	80	8,8	0,97	0,05	0,08	<0,006	0,006	0,62	4	3
18	7,0	24	187	244	3,0	88	23,5	1,09	<0,02	0,42	<0,006	0,090	0,15	2	7
19	8,2	26	308	331	2,1	114	11,5	15,3	0,03	0,20	<0,006	0,030	0,46	43	6
20	7,8	26	219	261	5,1	110	8,3	5,1	<0,03	0,16	<0,006	0,020	0,39	0	12
21	9,3	26	273	347	13,2	133	337,7	5,1	<0,03	0,26	0,006	0,075	0,30	0	7
22	8,1	26	190	198	1,8	65	19,4	1,3	<0,03	0,24	<0,006	0,020	0,28	0	7

STD - sólidos totais dissolvidos; C.E. - condutividade elétrica; Cl - cloreto; F - fluoreto
UGRHI- Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos

Tabela 3 - Resultados do 3º quartil para o Sistema Aquífero Serra Geral por UGRHI

UGRHI	PARÂMETROS														Nº de poços
	pH	Temp. C°	STD mg/L	C.E. µS/cm	Cl mg/L	Dureza mg/L	Na mg/L	N-NO ₃ mg/L	Fe mg/L	F mg/L	Mn mg/L	Cr mg/L	Ba mg/L	Contag. bactér. UFC/ml	
4	7,9	32	111	171	1,0	70	5,2	0,27	0,02	0,23	<0,006	0,0008	<0,08	0	2
9	6,4	26	153	174	2,5	64	9,8	0,79	0,02	0,38	<0,006	<0,0005	<0,08	3	2
12	7,9	27	122	127	1,0	56	13	0,22	<0,02	0,29	<0,006	<0,0005	0,08	4	2
13	8,3	27	136	170	1,5	46	30,1	0,50	<0,03	0,10	0,006	0,0060	<0,08	13	3
19	8,3	26	180	245	0,5	97	13,4	<0,30	<0,03	0,08	<0,006	0,0100	0,08	15	1

STD - sólidos totais dissolvidos; C.E. - condutividade elétrica; Cl - cloreto; F - fluoreto
UGRHI- Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos

Tabela 4 - Resultados do 3º quartil para o Sistema Aquífero Tubarão por UGRHI

UGRHI	PARÂMETROS														Nº de poços
	pH	Temp. C°	STD mg/L	C.E. µS/cm	Cl mg/L	Dureza mg/L	Na mg/L	N-NO ₃ mg/L	Fe mg/L	F mg/L	Mn mg/L	Cr mg/L	Ba mg/L	Contag. bactér. UFC/ml	
5 ⁽¹⁾	9,3	27	395	400	14,5	62	88,4	0,69	0,02	0,42	0,006	0,0008	<0,08	23	7
9 ⁽²⁾	5,6	24	29	14	1,0	11	0,7	0,05	0,02	0,22	0,006	0,0005	<0,08	8	1
10 ⁽¹⁾	8,7	26	584	704	18,1	84	116	0,21	0,004	0,97	0,012	<0,0005	<0,08	2	7
14 ⁽¹⁾	7,0	23	124	134	0,7	43	12,3	0,2	0,002	0,10	0,004	<0,0005	<0,08	0	2

(1) Formação Itararé (2) Formação Aquidauana

STD - sólidos totais dissolvidos; C.E. - condutividade elétrica; Cl - cloreto; F - fluoreto
UGRHI- Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos

Tabela 5 - Resultados do 3º quartil para o Sistema Aquífero Guarani por UGRHI

UGRHI	PARÂMETROS														Nº de poços
	pH	Temp. C°	STD mg/L	C.E. µS/cm	Cl mg/L	Dureza mg/L	Na mg/L	N-NO ₃ mg/L	Fe mg/L	F mg/L	Mn mg/L	Cr mg/L	Ba mg/L	Contag. bactér. UFC/ml	
4	6,4	28	90	85	1,0	28	2,6	0,10	<0,02	0,24	0,006	0,003	<0,08	2	11
8	7,0	30	134	155	1,0	54	11,5	0,08	<0,02	0,24	<0,006	0,002	<0,08	16	5
9	6,8	30	117	167	1,5	77	4,6	0,33	<0,02	0,24	<0,006	0,004	<0,08	6	5
10	6,2	25	77	93	6,7	27	2,3	3,04	0,04	0,18	<0,006	0,010	<0,08	10	1
12	6,6	26	173	190	7,5	71	9,1	3,37	0,03	0,26	<0,006	<0,0005	<0,08	3	1
13	7,7	26	106	130	1,0	40	5,8	<0,30	0,03	0,19	0,015	0,003	0,11	22	11
14	6,5	23	95	81	0,6	31	5,2	<0,20	<0,02	0,15	<0,006	0,002	<0,08	0	1
16	7,6	31	142	224	1,0	110	8,3	0,13	<0,02	0,24	<0,006	0,004	<0,08	0	2
17	7,6	29	172	220	0,9	100	10,7	<0,20	<0,02	0,22	<0,005	0,006	<0,08	1	1

STD - sólidos totais dissolvidos; C.E. - condutividade elétrica; Cl - cloreto; F - fluoreto

UGRHI- Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos

Tabela 6 - Resultados do 3º quartil para o Sistema Aquífero Cristalino por UGRHI

UGRHI	PARÂMETROS														Nº de poços
	pH	Temp. C°	STD mg/L	C.E. µS/cm	Cl mg/L	Dureza mg/L	Na mg/L	N-NO ₃ mg/L	Fe mg/L	F mg/L	Mn mg/L	Cr mg/L	Ba mg/L	Contag. bactér. UFC/ml	
5	8,2	24	238	239	6,6	70	16,5	0,81	<0,02	0,69	0,007	0,002	<0,08	27	5
6 ⁽¹⁾	7,5	22,6	193	246	7,6	82,4	24,7	0,42	0,18	0,74	0,050	0,002	0,05	112	9
6 ⁽²⁾	6,4	21,6	136	140	2,9	32	13,7	1,32	0,04	0,16	0,011	0,001	0,08	25	4
9	7,3	24	193	266	6,5	120	11,4	0,09	0,42	0,26	0,142	<0,002	<0,08	18	2
10	7,5	23	364	420	3,4	254	16,4	0,73	0,06	0,74	0,025	<0,0005	0,08	28	6
14	6,3	22	93	72	4,0	17	11,2	0,35	0,16	0,09	0,020	<0,0005	<0,08	0	1

(1) Embasamento Cristalino propriamente dito (2) Manto de intemperismo (nascentes)

STD - sólidos totais dissolvidos; C.E. - condutividade elétrica; Cl - cloreto; F - fluoreto

UGRHI- Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos

Tabela 7 - Resultados do 3º quartil para os Aquíferos Terciários por UGRHI

UGRHI	PARÂMETROS														Nº de poços
	pH	Temp. C°	STD mg/L	C.E. µS/cm	Cl mg/L	Dureza mg/L	Na mg/L	N-NO ₃ mg/L	Fe mg/L	F mg/L	Mn mg/L	Cr mg/L	Ba mg/L	Contag. bactér. UFC/ml	
2 ⁽¹⁾	7,1	26	160	164	1,3	42	16,8	0,04	0,12	0,30	0,08	<0,005	0,14	1	4
6 ⁽²⁾	7,4	25	200	162	1,0	32	20,3	<0,20	0,70	0,50	0,15	0,001	0,16	15	2

(1) Sistema Aquífero Taubaté (2) Formação São Paulo

STD - sólidos totais dissolvidos; C.E. - condutividade elétrica; Cl - cloreto; F - fluoreto

UGRHI- Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos

Estabelecimento de valores orientadores para águas subterrâneas

Com os resultados obtidos foi possível propor, para metais, valores de referência de qualidade para as águas subterrâneas. Estes são os valores esperados para uma água natural e que por serem inferiores aos padrões de potabilidade, validam o uso destes padrões como valores de intervenção. Os valores orientadores são utilizados pela Cetesb para subsidiar as ações de controle e fiscalização das fontes potenciais de poluição.

Os valores de referência de qualidade foram estabelecidos como sendo os valores do 3º quartil, (75% dos dados) para metais e o limite de detecção do método analítico praticado nos laboratórios da CETESB, para as substâncias orgânicas antropogênicas [6]. A Tabela 8 apresenta os valores orientadores para solos e águas subterrâneas no Estado de São Paulo, em complementação aos valores publicados no Diário Oficial do Estado de São Paulo em 25.10.2001 [7] e aos valores apresentados no Congresso da ABAS de 2002 [8].

Para os íons maiores, não foi possível estabelecer um valor de referência de qualidade que contemplasse todos os aquíferos devido à variação dos resultados obtidos.

Considera-se que as concentrações abaixo dos valores de referência de qualidade (VRQ) indicam que as águas subterrâneas têm qualidade excelente. Acima dos VRQ e abaixo do padrão de potabilidade indicam que a água tem qualidade boa. Em concentrações acima desses padrões, a água poderá ter qualidade aceitável se a substância em desacordo for removida por tratamentos convencionais. Para substâncias antrópicas carcinogênicas e para aquelas tóxicas não removidas por tratamentos convencionais, sua presença em concentrações acima dos padrões de potabilidade indicam qualidade água ruim e possível contaminação.

Indícios de alteração de qualidade das águas subterrâneas

Os resultados obtidos no monitoramento mostram a presença em vários poços, das substâncias: alumínio, bário, boro, chumbo, cromo, ferro, fluoreto, manganês, nitrato e potássio, além dos parâmetros microbiológicos, ultrapassando, esporadicamente ou não, os padrões de potabilidade. As substâncias orgânicas: clorofórmio e tolueno foram detectadas na RMSP, mas em concentrações inferiores ao padrão estabelecido pela Organização Mundial da Saúde.

Tabela 8 – Valores orientadores para solo e águas subterrâneas no Estado de São Paulo.

Substância	Valores orientadores						
	Solos (mg.kg ⁻¹)					Águas Subterrâneas(µg.L ⁻¹)	
	Referência de qualidade	Alerta	Intervenção			Referência de qualidade	Intervenção
Residencial			Agrícola	industrial			
METAIS							
Alumínio	--	--	--	--	--	40	200 ⁽²⁾
Antimônio	<0,5	2,0	5,0	10,0	25	--	5 ⁽¹⁾
Arsênio	3,50	15	25	50	100	2	10 ⁽¹⁾
Bário	75	150	300	400	700	80	700 ⁽¹⁾
Boro	--	--	--	--	--	30	100
Cádmio	<0,5	3	10	15	40	0,1	5 ⁽¹⁾
Chumbo	17	100	200	350	1200	3	10 ⁽¹⁾
Cobalto	13	25	40	80	100	10	30 ⁽⁵⁾
Cobre	35	60	100	500	700	10	2000 ⁽¹⁾
Cromo	40	75	300	700	1000	4 ⁽⁶⁾	50 ⁽¹⁾
Ferro	--	--	---	--	--	100	300 ⁽²⁾
Fluoreto	--	--	--	--	--	650	1500
Manganês	--	--	---	--	--	80	100 ⁽²⁾
Mercúrio	0,05	0,5	2,5	5	25	0,3	1 ⁽¹⁾
Molibdênio	<25	30	50	100	120	--	250 ⁽⁵⁾
Níquel	13	30	50	200	300	20	50 ⁽⁴⁾
Prata	0,25	2	25	50	100	--	50 ⁽³⁾
Selênio	0,25	5	--	--	--	2	10 ⁽¹⁾
Vanádio	275	--	--	--	--	20	100 ⁽⁸⁾
Zinco	60	300	500	1000	1500	10	5000 ⁽²⁾
ORGÂNICOS							
Benzeno	0,25	--	0,6	1,5	3,0	2,5	5 ⁽¹⁾
Tolueno	0,25	--	30	40	140	2,5	170 ⁽²⁾
Xilenos	0,25	--	3,0	6,0	15	2,5	300 ⁽¹⁾
Estireno	0,05	--	15	35	80	2,5	20 ⁽¹⁾
Naftaleno	0,20	--	15	60	90	--	100 ⁽⁵⁾
Diclorobenzeno	0,02	--	2,0	7,0	10,0	2,5	40 ⁽⁵⁾
Hexaclorobenzeno	0,0005	--	0,1	1,0	1,5	0,002	1 ⁽¹⁾
Tetracloroetileno	0,10	--	1,0	1,0	10	2,5	40 ⁽¹⁾
Tricloroetileno	0,10	--	5,0	10	30	2,5	70 ⁽¹⁾
1,1,1 Tricloroetano	0,01	--	8,0	20	50	2,5	600 ⁽⁵⁾
1,2 Dicloroetano	2,00	--	0,5	1,0	2,0	2,5	10 ⁽¹⁾
Cloreto de Vinila	0,05	--	0,1	0,2	0,7	2,5	5 ⁽¹⁾
Pentaclorofenol	0,01	--	2,0	5,0	15,0	0,1	9 ⁽¹⁾
Triclorofenol	0,2	--	1,0	5,0	6,0	0,2	200 ⁽¹⁾
Fenol	0,3	--	5,0	10,0	15,0	--	0,1 ⁽³⁾
Aldrin e Dieldrin	0,00125	--	0,5	1,0	5,0	0,005	0,03 ⁽¹⁾
DDT	0,0025	--	0,5	1,0	5,0	0,01	2 ⁽¹⁾
Endrin	0,00375	--	0,5	1,0	5,0	0,015	0,6 ⁽¹⁾
Lindano (δ-BHC)	0,00125	--	0,5	1,0	5,0	0,005	2 ⁽¹⁾

- 1- Padrão de Potabilidade da Portaria 1.469 do Ministério da Saúde para Substâncias que apresentam risco à saúde
 - 2- Padrão de Potabilidade da Portaria 1.469 do Ministério da Saúde para aceitação de consumo (critério organoléptico).
 - 3- Padrão de Potabilidade da Portaria 36 do Ministério da Saúde;
 - 4- Comunidade Econômica Européia
 - 5- Com base no valor de intervenção para solos no Cenário Agrícola/Área de Proteção Máxima(APMax)
 - 6- Com exceção do Sistema Aquífero Bauru onde o VRQ para cromo é 40 µg/L
 - 7- Sistemas Aquíferos: Bauru, Itararé, Serra Geral e Embasamento Cristalino.
 - 8- CONAMA 20.
- não estabelecido

Nitrato

A tabela 9 apresenta os poços tubulares nos quais se detectaram concentrações de nitrogênio nitrato acima de 5,0 mg/L N, apontando assim indícios de contaminação.

Observa-se que em cinco poços, o padrão de potabilidade foi ultrapassado pelo menos uma vez indicando contaminação. Esses poços captam água do Sistema Aquífero Bauru e estão localizados nas UGRHIs 19, 20, 21 e 22, regiões atendidas pelas Agências da CETESB de Araçatuba, Marília e Presidente Prudente. Os poços contaminados por nitrato representam 3% do total de poços monitorados e 7% dos que captam água no Sistema Aquífero Bauru.

Tabela 9 – Poços tubulares com indícios de contaminação por N-nitrato e número de ultrapassagem do padrão de potabilidade

AGÊNCIA ATENDIMENTO CETESB	MUNICÍPIO	AQUÍFERO	AMPLITUDE DE VARIAÇÃO (mg/L N-NO ₃)		Nº de ultrapassagens em 6 análises 2001-2003
			1998-2000	2001-2003	
Araçatuba	Andradina	Santo Anastácio e Caiuá	5,40 - 17,5	15,0 - 19,2	6
	Muritinga do Sul	Adamantina e Sto. Anastácio	4,20 - 20,9	5,60 - 22,1	5
	Nova Independência	Santo Anastácio	2,32 - 5,72	1,47 - 6,19	0
	Ribeirão Bonito	Guarani	0,57 - 6,33	2,44 - 6,60	0
Marília	Quatá	Adamantina e Sto. Anastácio	0,30 - 0,71	0,45 - 10,7	1
	Pompeia	Marília e Adamantina	3,16 - 9,56	6,40 - 10,9	1
	Parapuã	Adamantina	4,65 - 8,80	5,19 - 7,57	0
	Tupã	Adamantina e Santo Anastácio	3,90 - 10,8	5,12 - 6,51	0
Pres. Prudente	Inúbia Paulista	Adamantina e Sto. Anastácio	5,40 - 18,4	8,18 - 14,4	3
	Monte Castelo	Santo Anastácio/Caiuá	1,82 - 6,77	4,22 - 5,34	0
	Santa Mercedes	Adamantina	1,90 - 5,61	3,22 - 5,66	0
Bauru	Avaí	Marília	2,70 - 8,32	3,47 - 5,30	0
Paulínia	Paulínia	Itararé	4,21 - 7,60	3,70 - 8,40	0
Ribeirão Preto	Orlândia	Guarani	0,02 - 6,20	1,60 - 6,00	0
S. J. Rio Preto	Jales	Adamantina e Santo Anastácio	0,03 - 6,30	0,04 - 7,40	0
	Uchoa	Adamantina	0,20 - 4,20	0,52 - 5,50	0

Fonte: CETESB, 2004 [3]

Ressalta-se que, em comparação ao período 1998-2000, apesar de ter havido redução do número de poços contaminados, houve tendência de aumento nas concentrações de nitrato. Para o poço localizado no município de Quatá, observou-se apenas um resultado acima do padrão de

potabilidade em setembro de 2003, sendo anômalo quando comparado com os resultados anteriores para o mesmo poço.

As principais fontes de nitrato para as águas subterrâneas são de origem antrópica difusa, podendo ser citadas: aplicação de fertilizantes e insumos nitrogenados, utilização de fossas negras, vazamentos das redes coletoras de esgoto e influência de rios contaminados na zona de captação de poços.

A Figura 2 apresenta a série histórica da concentração de nitrato nos poços considerados contaminados.

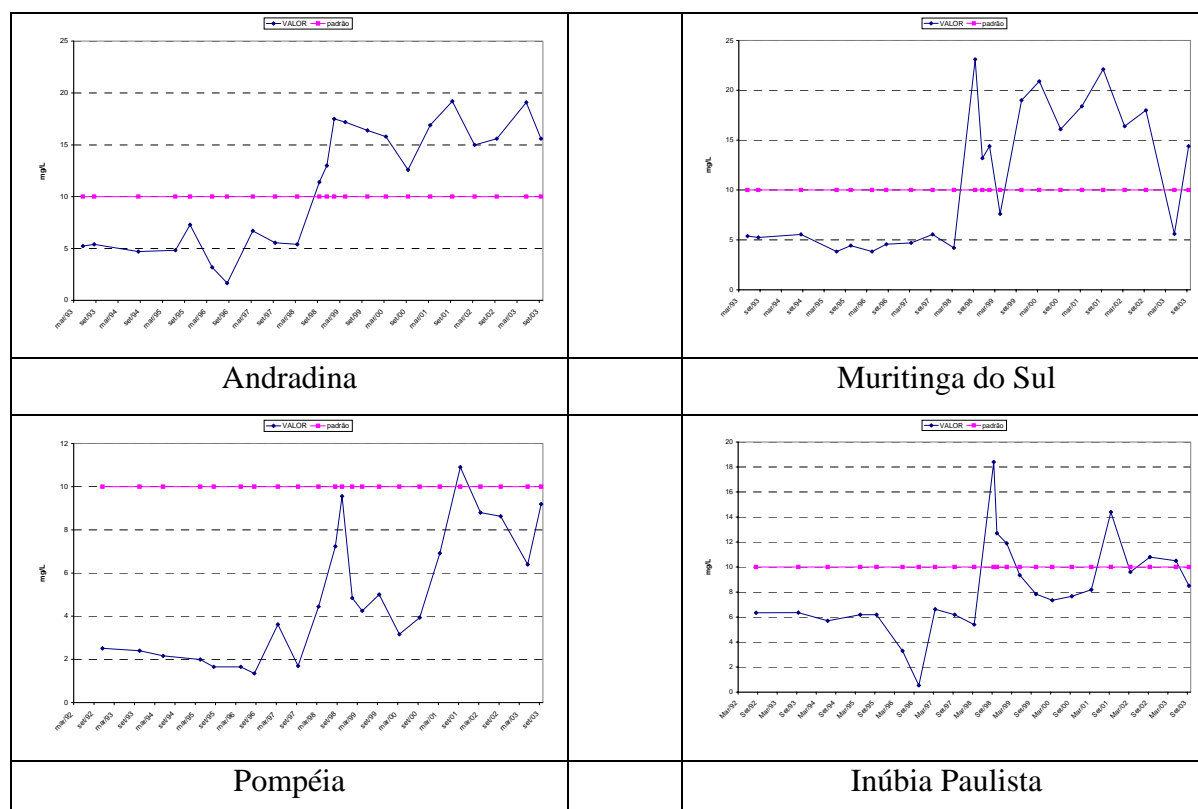


Figura 2 - Gráficos da série histórica das concentrações de nitrato para os poços contaminados.

Cromo total

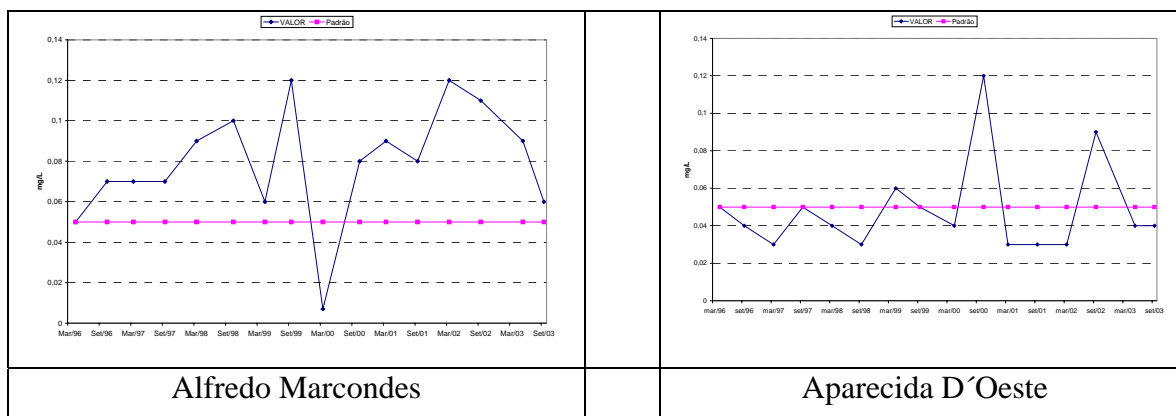
O monitoramento atual apontou poços que captam água do Aquífero Bauru localizados nas UGRHIs 18 e 21, apresentando as maiores concentrações de cromo, ultrapassando o padrão de potabilidade. Por outro lado, houve diminuição das concentrações nas águas dos poços tubulares dos municípios localizados nas UGRHIs 15 e 22. Poços contaminados por cromo representam 11% do total de poços monitorados, todos eles captando água no Sistema Aquífero Bauru. Além disso a maioria dos poços deste Sistema Aquífero apresentou concentrações próximas do padrão de potabilidade.

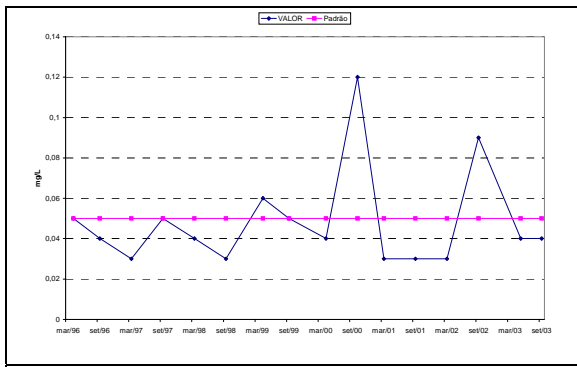
A Tabela 10 apresenta a relação dos poços tubulares monitorados pela CETESB que apresentaram, no período 2001-2003, ultrapassagem do padrão de potabilidade para cromo. A Figura 3 apresenta os gráficos das séries históricas das concentrações de cromo nesses poços.

Tabela 10 - Poços tubulares que apresentaram ultrapassagem do padrão de potabilidade para cromo total no período de 2001 a 2003 e comparação como o período de 1998 a 2000.

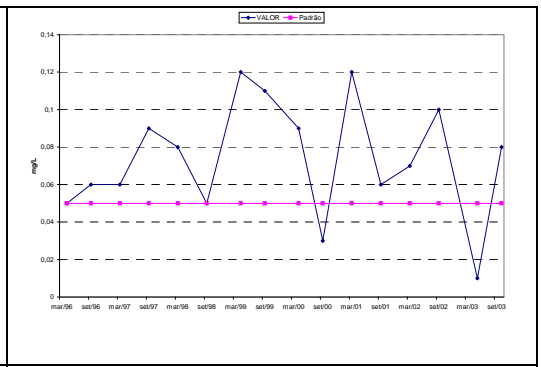
AGÊNCIA ATENDIMENTO	MUNICÍPIO	AMPLITUDE		N° de ultrapassagens
		1998-2000	2001-2003	
Padrão de potabilidade 0,05 mg/L				
Araçatuba	Sud Mennucci	0,05 – 0,08	0,06 - 0,09	6
	Valparaíso	0,01 – 0,06	0,04 - 0,10	3
Presidente	Alfredo Marcondes	0,007 –	0,06 - 0,12	6
Prudente	Caiabu	0,04 – 0,11	0,06 - 0,11	6
	Flórida Paulista	0,04 – 0,14	0,07 - 0,17	6
São José Rio Preto	Aparecida do Oeste	0,03 – 0,12	0,03 - 0,09	1
	Catigua	0,03	0,03 - 0,12	2
	Dirce Reis	0,03 – 0,11	0,01 - 0,12	5
	Floreal	0,01 – 0,03	0,02 - 0,09	2
	General Salgado	0,009 –	0,03 - 0,09	3
	Guzolândia	0,03 - 0,10	0,03 - 0,10	3
	Jales	0,01 – 0,08	0,01 - 0,06	1
	Marinópolis	0,04 – 0,09	0,03 - 0,09	3
	Nova Granada	0,03 – 0,10	0,04 - 0,07	3
	Potirendaba	0,02 – 0,09	0,03 - 0,11	3
	São João Duas Pontes	0,04 – 0,11	0,05 - 0,09	4
	Uchoa	0,02 – 0,04	0,02 - 0,12	2
	Tabapuã (Novais)	0,04 – 0,06	0,03 - 0,07	1

Fonte: CETESB (2004)

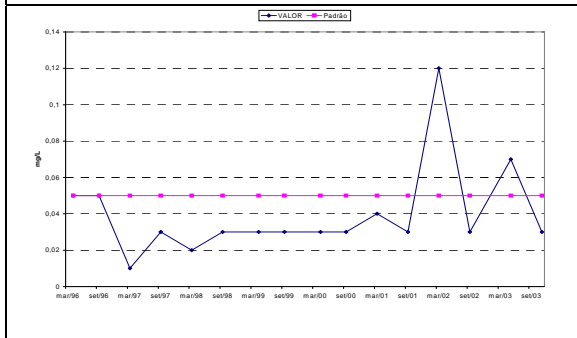




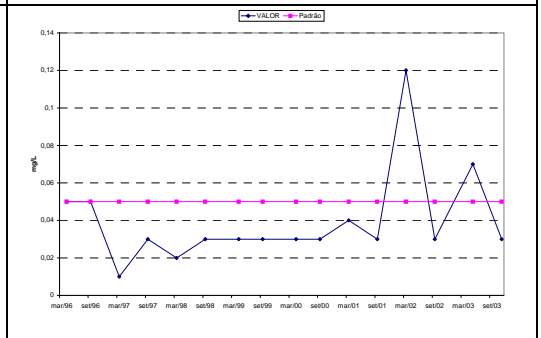
Caiabú



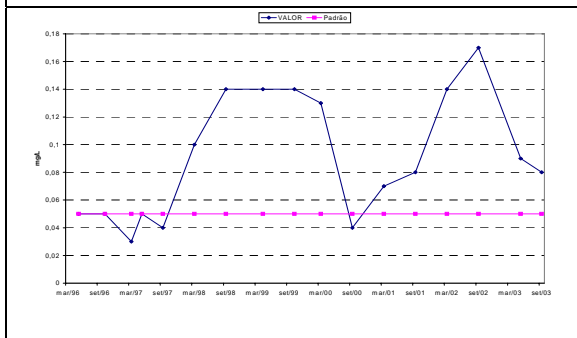
Dirce Reis



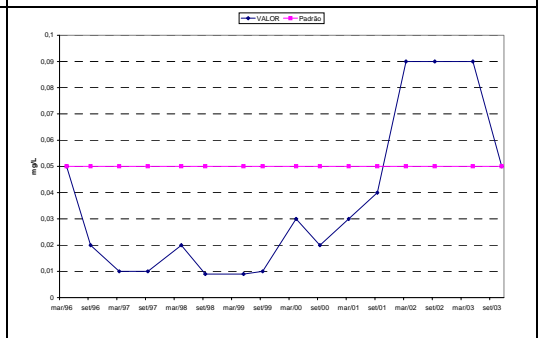
Catiguá



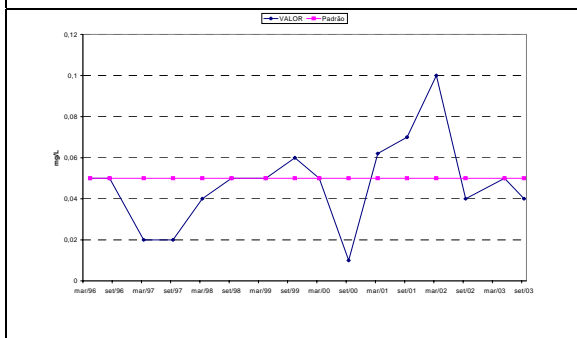
Floreal



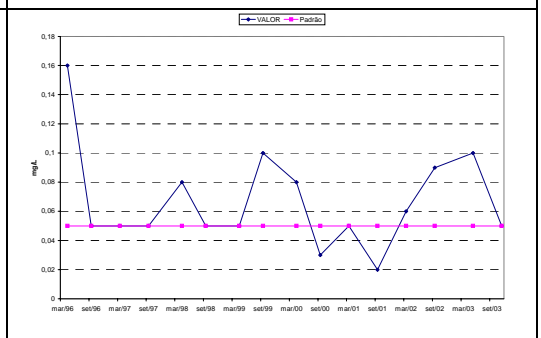
Flórida Paulista



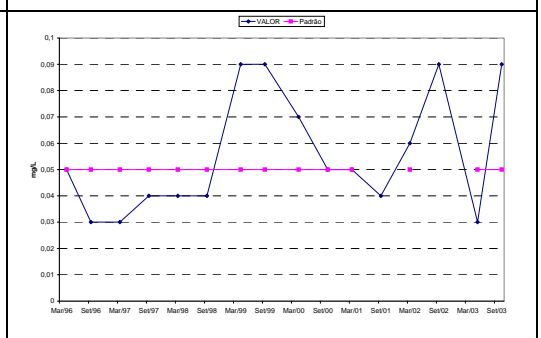
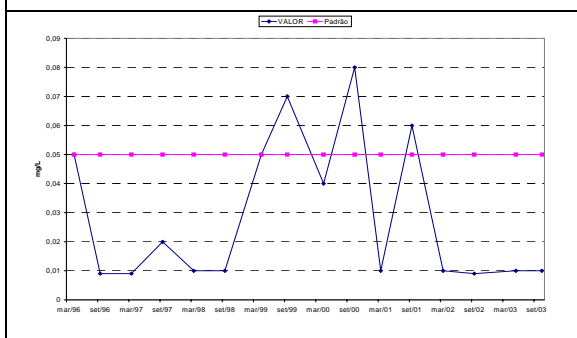
General Salgado



Valparaíso



Guzolândia



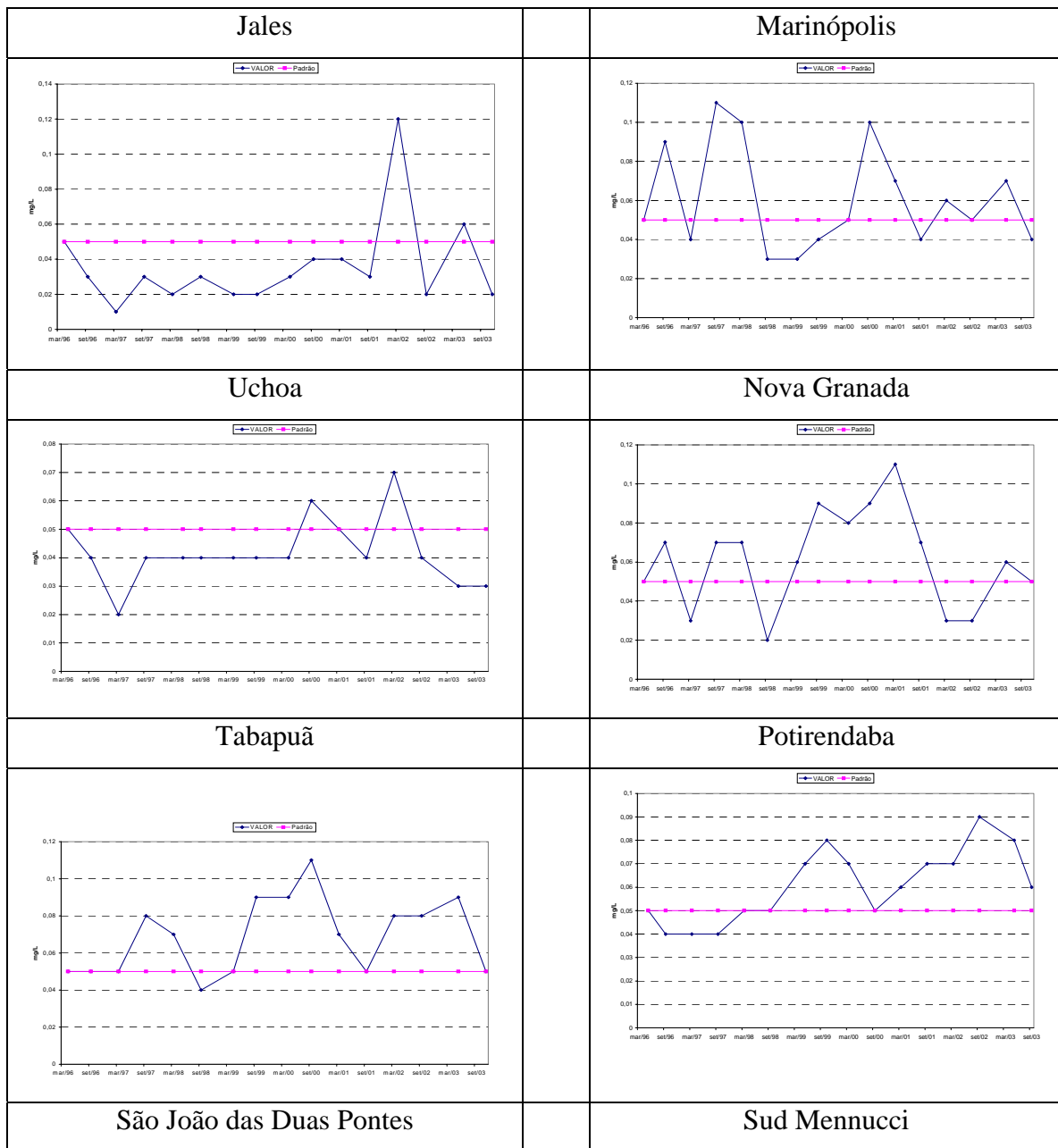


Figura 3 - gráficos das séries históricas das concentrações de cromo por poços.

A presença de cromo nas águas subterrâneas do noroeste paulista é um fato já conhecido pelos órgãos gestores da água, concessionárias de água e universidades. Almodovar [9] e [10], aponta para a possibilidade do cromo nessa região ter origem natural, associados aos sedimentos da formação Adamantina. Entretanto as regiões onde estão sendo encontradas elevadas concentrações de cromo total são aquelas onde ocorreu, por décadas, a disposição no solo de resíduos da indústria de curtume contendo cromo. Outras atividades que podem liberar cromo e seus compostos para o meio ambiente são: construção civil, devido aos resíduos provenientes do cimento; soldagem de ligas metálicas; fundições; indústria de galvanoplastia; lixos urbano incineração de lixo; cinzas de carvão; preservantes de madeiras; fertilizantes orgânicos e inorgânicos e agrotóxicos.

Indicadores biológicos

De modo geral, as águas subterrâneas apresentam excelente qualidade de potabilidade em termos de indicadores biológicos, como contagem de bactérias, coliformes fecais e totais e *Echichirichia coli*. Eventualmente, foram detectadas bactérias e coliformes, acima do valor máximo permitido. A presença de coliformes nas águas subterrâneas está associada, geralmente, a poços mal construídos, locados inadequadamente ou mal protegidos. A Figura 4 apresenta a porcentagem de amostras nas quais detectou-se Bactérias Heterotróficas acima dos padrões permitidos.

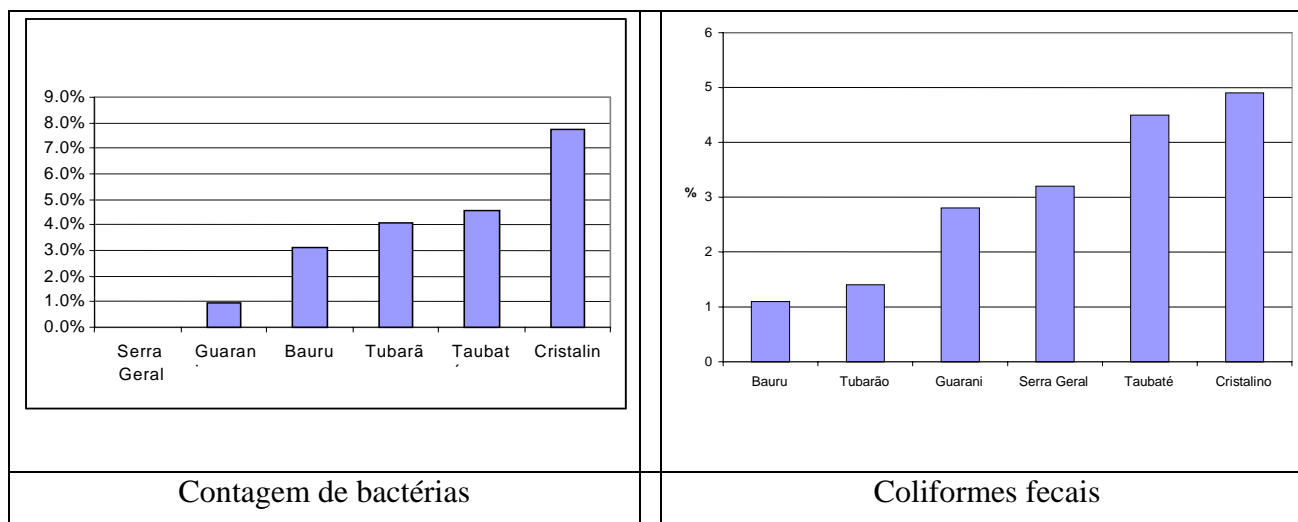


Figura 4 - Porcentagem (%) de amostras que ultrapassaram o padrão de potabilidade para indicadores biológicos.

Demais parâmetros que apresentaram ultrapassagem do padrão de potabilidade

Em alguns dos poços monitorados também foram detectados bário, chumbo, fluoreto, alumínio, ferro e manganês em concentrações acima dos padrões de potabilidade, conforme apresentado nas Tabelas 11 a 15. A ocorrência dessas substâncias acima dos padrões não tem sua origem definida, podendo ser atribuída a fontes naturais e/ou antrópicas.

Tabela 11 – Poços que apresentaram concentrações de BÁRIO em desconformidade com a Portaria 518/04 do Ministério da Saúde.

Sistema Aquífero	Município	Varição Bário mg/L	(A)
Padrão de Potabilidade		0,70	
Guarani	Ribeirão Bonito	0,59 - 0,84	4
Bauru	Floreal	0,07 - 1,35	1
	Gália	0,61 - 1,18	4
	Inúbia Paulista	0,43 - 0,71	1
	Muritinga Sul	0,65 - 0,90	4
	Teodoro Sampaio	0,08 - 0,84	1

Fonte: CETESB (2004)

(A) número de ultrapassagem do padrão de potabilidade em 6 amostras

Tabela 12 - Resultados de ALUMÍNIO em desconformidade com a Portaria 518/04 do Ministério da Saúde.

Sistema Aquífero	Município	Varição Alumínio mg/L	(A)
Padrão de Potabilidade		0,20	
Serra Geral	Dourado	0,01 - 0,33	1
	Pitangueiras	0,01 - 0,34	1
Bauru	General Salgado	0,01 - 0,36	1
	Guzolândia	0,01 - 0,28	1
	Monte Alto	0,01 - 0,33	1
	Monte Castelo	0,01 - 0,26	1
	São João Duas Pontes	0,01 - 0,25	1

Fonte: CETESB (2004)

(A) número de ultrapassagem do padrão de potabilidade em 6 amostras

Tabela 13 - Poços que apresentaram concentrações de CHUMBO e FLUORETO em desconformidade com a Portaria 518/04 do Ministério da Saúde.

Sistema Aquífero	Município	Varição Chumbo mg/L	(A)	Varição Fluoreto mg/L	(A)
Padrão de Potabilidade		0,01		1,5	
Bauru	Presidente Prudente	0,03	1	--	0
Guarani	Botucatu	0,002 - 0,03	2	--	0
	Buritizal	0,002 0,02	1	--	0
	Itirapina	0,002 - 0,03	1	--	0
	Pedregulho	0,002 - 0,02	1	--	0
Tubarão	Cesário Lange	0,002 - 0,03	1	1,49 - 1,75	5
	Iperó	0,002 - 0,03	1	--	0
Cristalino	Itapira	0,002 - 0,05	1	--	0
	São Paulo - Canindé	0,002 - 0,04	1	0,94 - 1,96	2
	Ibiúna - P1, SABESP	--	0	0,28 - 1,52	1
	Amparo - Indústria de Papel Fernandez	--	0	0,03 - 16,1	6

Fonte: CETESB (2004)

(A) número de ultrapassagem do padrão de potabilidade em 6 amostras

Estudos hidroquímicos sobre concentrações naturais de flúor em águas subterrâneas no Estado de São Paulo têm reportado a ocorrência de fluoreto acima do padrão de qualidade nas águas subterrâneas dos Sistemas Aquíferos Serra Geral, Guarani e Tubarão [11]. Entretanto atividades industriais de fabricação de cerâmicas e processamento de alumínio são fontes dessa substância, cuja via de transporte é principalmente atmosférica [12]; [13]; [14].

Tabela 14 - Resultados de MANGANÊS em desconformidade com a Portaria 518/04 do MS

Sistema Aquífero	Município	Varição Manganês mg/L	(A)
Padrão de Potabilidade		0,10	
Bauru	Pirapozinho	0,002 - 0,29	1
	Regente Feijó	0,002 - 1,08	1
Tubarão	Capela do Alto	0,06 - 0,14	4
	Elias Fausto	0,06 - 0,16	4
Guarani	Dois Córregos	0,005 - 0,14	1
	Macatuba	0,005 - 0,22	1
	Matão	0,005 - 0,12	1
Serra Geral	Boracéia	0,01 - 0,16	1
Cristalino	Socorro	0,08 - 0,22	3
	Piedade	0,04 - 0,34	4
	Amparo	0,005 - 0,16	1
Taubaté	Roseira	0,09 - 0,11	1
	S José Campos	0,01 - 0,14	1
Form. São Paulo	Guarulhos – SAEE P14	0,11 - 0,19	2
	Guarulhos – SAEE P17	0,1 - 0,14	1

Fonte:CETESB (2004)

(A) número de ultrapassagem do padrão de potabilidade em 6 amostras

Tabela 15 - Resultados de FERRO em desconformidade com a Portaria 518/04 do Ministério da Saúde.

Sistema Aquífero	Município	Varição Ferro mg/L	(A)
Padrão de Potabilidade		0,30	
Cristalino	Itapira	0,02 - 2,93	3
	Embu	0,07 - 0,62	1
	Santana do Parnaíba P3	0,44 - 0,55	2
	São Miguel Arcanjo	0,01 - 0,36	1
	Socorro	0,04 - 1,21	1
	Poá	0,01 - 0,39	1
	Piedade	0,01 - 0,36	1
Bauru	Macedônia	0,01 - 0,58	1
	Muritinga Sul	0,03 - 0,35	1
	Rancharia	0,01 - 0,62	1
Guarani	Araraquara	0,02 - 0,91	1
	Itirapina	0,01 - 0,91	2
	Sales Oliveira	0,01 - 0,63	1
Formação São Paulo	Guarulhos SAEE P14	0,33 - 1,83	2

Fonte:CETESB (2004)

(A) número de ultrapassagem do padrão de potabilidade em 6 amostras

CONCLUSÕES

Os resultados obtidos demonstraram que houve pouca variação entre os resultados desse monitoramento e o realizado no período de 1998 a 2000 e que as águas subterrâneas do Estado apresentam boa qualidade para consumo humano, portanto devem ser protegidas para essa finalidade. Além disso, o conhecimento da qualidade das águas dos sistemas aquíferos, vem possibilitando a adoção dos valores de referência da qualidade para cada aquífero, que juntamente com a adaptação dos Índices de Qualidade (IQA) e de Substâncias Tóxicas (ISTO), utilizados para a classificação das águas superficiais, servirão de base para a classificação das águas subterrâneas do Estado, que a CETESB, pretende propor.

O monitoramento efetuado pela CETESB não contempla parâmetros indicadores de radioatividade, embora na literatura técnica existe indicação de ocorrência de rádio e radônio nas porções confinadas do Aquífero Guarani, acima dos valores permitidos pela Organização Mundial da Saúde.

O Sistema Aquífero Bauru, que é livre em toda a sua extensão, recobre dois terços da área do Estado de São Paulo e é o mais utilizado para abastecimento público, foi o que apresentou maiores indícios de alteração de qualidade das águas. Já o Sistema Aquífero Taubaté apresentou as águas menos mineralizadas.

Quanto à presença de substâncias em concentrações acima dos padrões de potabilidade, principalmente, cromo e fluoreto, suas ocorrências devem ser vistas sob dois aspectos: a origem natural e a antrópica. Assim, faz-se necessário avaliar diferentes tipos de informações, designadamente: caracterização das condições geológicas, climatológicas, hidrogeológicas, hidroquímicas e uso e ocupação do solo, para verificar se, nas áreas de ocorrência, existe ou não correspondência entre as concentrações observadas e as atividades humanas, notadamente as industriais e agrícolas, nelas estabelecidas. A CETESB pretende realizar esta investigação em parceria com institutos de pesquisa e universidades.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL, CETESB. Uso das Águas Subterrâneas para Abastecimento Público no Estado de São Paulo. São Paulo: CETESB, 1997, 47p.
- [2] _____. Qualidade das Águas Subterrâneas do Estado de São Paulo 1998 - 2000. São Paulo: CETESB, 2001, 177p.
- [3] _____. Qualidade das Águas Subterrâneas do Estado de São Paulo. São Paulo – 2001 - 2003: CETESB, 2004. 106p., com ilustração.

- [4] AGUDO, E.G. et al. Guia de coleta e preservação de amostras de água. São Paulo: CETESB, 1989, 150p.
- [5] APHA. Standart methods for examination of water and wastewater. 20^a ed. Washington : APHA-AWWA-WPCF, 1998.
- [6] COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL, CETESB. Estabelecimento de padrões de referência de qualidade e valores de intervenção para solos e águas subterrâneas no Estado de São Paulo: relatório final. 2001. São Paulo : CETESB, 2002. 248p.
- [7] DIÁRIO OFICIAL DO ESTADO - DOE. Empresarial. de 26.10.2001. p18.
- [8] LEMOS, M.M.G; SILVA, M.F.B.; DIAS, C.L.; BUCCI, E.M.; e CASARINI, D.C.P. Qualidade das águas subterrâneas no Estado de São Paulo, em poços tubulares utilizados para abastecimento público In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 12. Florianópolis, SC. Anais. ABAS, 2002.
- [9] ALMODOVAR, M.L.N. Estudo da anomalia de cromo nas águas subterrâneas da região noroeste do Estado de São Paulo. São Paulo, SP. 1995. 101p. Dissertação de mestrado. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 1995
- [10] ALMODOVAR, M.L.N. A origem natural da poluição por cromo no Aquífero Adamantina, município de Urânia, SP. Tese de Doutorado. Instituto de Geociências. Univresidade de são Paulo.2000
- [11] KIMMELMANN, A.A.; et al. 1990 Considerações sobre as anomalias de fluoretos no Sistema Aquífero Botucatu-Pirambóia, na Bacia do Paraná. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 6. Porto Alegre, RS. Anais... Porto Alegre: ABAS, 16-19 set., 1990. p.107-111.
- [12] COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL, CETESB. Poluição das águas subterrâneas no Estado de São Paulo: Estudo Preliminar. São Paulo: Secretaria de Obras e do Meio Ambiente. 1977. 88p.
- [13] _____. Remoção de fluoretos de águas de abastecimento. Relatório final. São Paulo: CETESB. 1991. 77 p.
- [14] _____. Estudo de Fluoreto no município de Alumínio. São Paulo: CETESB. 1994.