

# CARACTERIZAÇÃO DA QUALIDADE DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DA REGIÃO ENTRE INDAIATUBA E CAPIVARI (SP), PORÇÃO SUL DA UGRHI 5 – RESULTADOS PRELIMINARES

Geraldo Hideo Oda<sup>1</sup>; Mara Akie Iritani<sup>2</sup>; Carla Veiga da Silva<sup>3</sup>; Sibebe Ezaki<sup>4</sup>; Márcia Regina Stradioto<sup>5</sup>; Felipe Rodrigues Ferroni<sup>6</sup>

## RESUMO

Este trabalho apresenta uma caracterização preliminar da qualidade da água subterrânea dos Aquíferos Tubarão (sedimentar, granular) e Cristalino (fissural) na porção sul da UGRHI 05 (Bacia Hidrográfica dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiá PCJ) que abrange os Municípios de Indaiatuba, Salto, Monte Mor, Elias Fausto, Capivari e Rafard. Foram levantados 1271 poços tubulares profundos, dos quais 328 apresentam algum dado de análise química de águas. Dada a falta de informações completas de composição das águas, foram selecionados poços para amostragem e análise química. A avaliação deste conjunto de informações e dados indicou que alguns parâmetros, como ferro total, manganês, fluoreto e sólidos totais dissolvidos apresentaram-se acima do padrão de potabilidade (Portaria Nº 518/04 Ministério da Saúde) em alguns casos. A ocorrência de elevados teores está possivelmente associada a anomalias naturais da região, embora sejam necessários estudos complementares para averiguar a influência de fontes de contaminação ou de problemas construtivos de poços.

## ABSTRACT

This study presents a preliminary feature of ground water quality of Tubarao Aquifer (sedimentary, granular) and Crystalline Aquifer (fissured), in the southern portion of UGRHI 05 (Drainage Basin of Piracicaba, Capivari and Jundiá Rivers) which comprises the municipalities of Indaiatuba, Salto, Monte Mor, Elias Fausto, Capivari e Rafard. 1271 production wells were registered, 328 of which presented some analysis data. Because of the lack of waters composition informations, some wells were selected in order to execute water sampling and chemical analysis. The evaluation of these chemical data demonstrated that some parameters (iron, manganese,

<sup>1</sup> Instituto Geológico/ Secretaria do Meio Ambiente – IG/SMA-SP – Av. Miguel Stéfano, 3900 Água Funda, São Paulo-SP, CEP: 04301-903.Fone: (11) 5073-5511 Ramal 2049. E-mail: [ghoda@igeologico.sp.gov.br](mailto:ghoda@igeologico.sp.gov.br)

<sup>2</sup> IG/SMA-SP. E-mail: [mara.iritani@igeologico.sp.gov.br](mailto:mara.iritani@igeologico.sp.gov.br)

<sup>3</sup> IG/SMA-SP. E-mail: [carla.veiga@igeologico.sp.gov.br](mailto:carla.veiga@igeologico.sp.gov.br)

<sup>4</sup> IG/SMA-SP. E-mail: [sibezaki@igeologico.sp.gov.br](mailto:sibezaki@igeologico.sp.gov.br)

<sup>5</sup> Laboratório de Estudos de Bacias - LEBAC do Instituto de Geociências e Ciências Exatas da Universidade Estadual Paulista – IGCE/UNESP, Av. 24-A, 515. Rio Claro-SP Fone: (19) 3532-5119 .E-mail: [marciastradioto@yahoo.com.br](mailto:marciastradioto@yahoo.com.br)

<sup>6</sup> LEBAC -IGCE/UNESP.

fluoride and total dissolved solids) exceed the limits of potability patterns of water. High levels occurrences are possibly associated to natural anomalies in this region, although complementary studies are necessary in order to confirm that contamination sources do not influence water quality as well as production well constructive problems.

**PALAVRAS-CHAVE:** Águas Subterrâneas, Aquífero Tubarão, Aquífero Cristalino.

## **INTRODUÇÃO**

Este trabalho apresenta resultados preliminares da caracterização hidroquímica e de qualidade das águas subterrâneas na porção sul da UGRHI-5, que abrange os Municípios de Indaiatuba, Salto, Monte Mor, Elias Fausto, Capivari e Rafard (SP). Constitui uma das etapas de Projeto de Pesquisa em desenvolvimento no Instituto Geológico-SMA, que tem como objetivo identificar áreas potenciais de restrição e controle à captação e uso da água subterrânea na porção sul da Bacia Hidrográfica dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiá (Projeto ARCTUB).

A área de estudo situa-se a sul e é abrangida, em parte, pela Região Metropolitana de Campinas (SP). Esta região apresenta sérios problemas para garantir água em quantidade e qualidade adequada para seus habitantes. Nas cidades, os problemas de abastecimento estão diretamente relacionados ao crescimento da demanda, ao desperdício e à urbanização descontrolada – que atinge regiões de mananciais. Na zona rural, os recursos hídricos também são explorados de forma irregular, além de parte da vegetação protetora da bacia (mata ciliar) ser destruída para a realização de atividades como agricultura e pecuária. Não raramente, os agrotóxicos e dejetos utilizados nessas atividades também acabam por poluir a água.

É crescente a demanda dos recursos hídricos subterrâneos para o abastecimento público na área estudada, que enfrenta dificuldades dada à baixa disponibilidade hídrica relacionada às características intrínsecas dos aquíferos explorados – Tubarão (sedimentar) e Cristalino (fissural) com vazões medianas de 7,3 e 7,0 m<sup>3</sup>/h (Pereira, 1997), aliada ao crescimento populacional, à expansão urbana e ao intenso processo de industrialização.

Com a poluição dos mananciais superficiais associada ao elevado custo do tratamento dessas águas para os mais diversos usos, os mananciais subterrâneos se tornam importantes fontes alternativas para o abastecimento e vêm sendo cada vez mais utilizados. A captação de água subterrânea é feita, geralmente, em locais não abastecidos por sistema público de água ou quando se necessita complementar a água de distribuição. Em alguns casos, em função do menor custo,

grandes consumidores de água, como, por exemplo, indústrias, condomínios residenciais e hotéis, optam pela captação de água subterrânea.

No Estado de São Paulo, atualmente, aproximadamente 80% dos Municípios são total ou parcialmente abastecidos por água subterrânea. Na área estudada dois dos municípios estudados, Rafard e Elias Fausto, dependem totalmente das águas subterrâneas para abastecimento público; Capivari, Monte Mor e Indaiatuba dependem parcialmente deste recurso. Salto utiliza 100% de recursos hídricos superficiais (Tabela 1).

**Tabela 1. Volume de água produzida (superficial e subterrânea) por município.**

Município	Fonte de abastecimento de água				Total (m <sup>3</sup> /ano) – volume de água produzido
	Superficial (m <sup>3</sup> /ano) – volume de água tratada em ETA	(%)	Subterrânea (m <sup>3</sup> /ano)	(%)	
Indaiatuba	22.195.000	99,41	132.000	0,59	22.327.000
Monte Mor	1.894.200	54,05	1.610.210	45,95	3.504.410
Salto	11.294.400	100,00	0	0,00	11.294.400
Capivari	1.801.340	36,28	3.163.390	63,72	4.964.730
Elias Fausto	0	0,00	972.990	100,00	972.990
Rafard	0	0,00	659.540	100,00	659.540

Fonte: Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento - SNIS (2008).

As águas dos aquíferos do Estado de São Paulo apresentam, de forma geral, boa qualidade, atendendo aos padrões de potabilidade e estando adequadas ao consumo humano. As ocorrências de contaminação são, ainda, localizadas e devem ser controladas para não comprometer as reservas subterrâneas dos aquíferos. A qualidade da água pode interferir no seu aproveitamento, o que implica na necessidade de avaliação das características naturais da água, bem como da ocorrência de contaminações, quer sejam naturais ou de origem antrópica, com objetivo de estabelecer caminhos para a proteção e a reversão da evolução do quadro de degradação.

## MATERIAIS E MÉTODOS

### Levantamento de dados de poços tubulares profundos

Para o desenvolvimento desse trabalho foram realizados levantamentos dos dados cadastrais de poços tubulares, junto ao DAEE (Departamento de Águas e Energia Elétrica), responsável pela outorga de uso da água no Estado de São Paulo, e com algumas companhias perfuradoras de poços que atuam na região como: Edisona, Jundsondas, Constroli, Lucksondas, Prosondas, Sondágua.

Foram levantadas informações da construção do poço, profundidade, vazão, nível dinâmico e estático, perfil geológico, análises físico-químicas da água, entre outras. Todas as informações obtidas foram compiladas em um único Cadastro de Poços Tubulares Profundos do Instituto Geológico/SMA.

Foram levantados 1271 poços nos seis municípios estudados, até Março/2010, dos quais somente 25,8% possuem algum dado de análise química e localização (coordenadas) (Tabela 2).

**Tabela 2. Total de poços por município e que contêm informações de localização e análise química.**

Município	Total de poços levantados	Poços com coordenadas geográficas	Poços com dados de análise química e localização
Capivari	187	181 (96,8%)	51 (27,3%)
Elias Fausto	137	123 (89,8%)	28 (20,4%)
Indaiatuba	495	367 (74,1%)	132 (26,7%)
Monte Mor	215	176 (81,8%)	31 (14,4%)
Rafard	48	42 (87,5%)	13 (27,1%)
Salto	189	170 (89,9%)	73 (38,6%)
Total	1272	1059 (83,3%)	328 (25,8%)

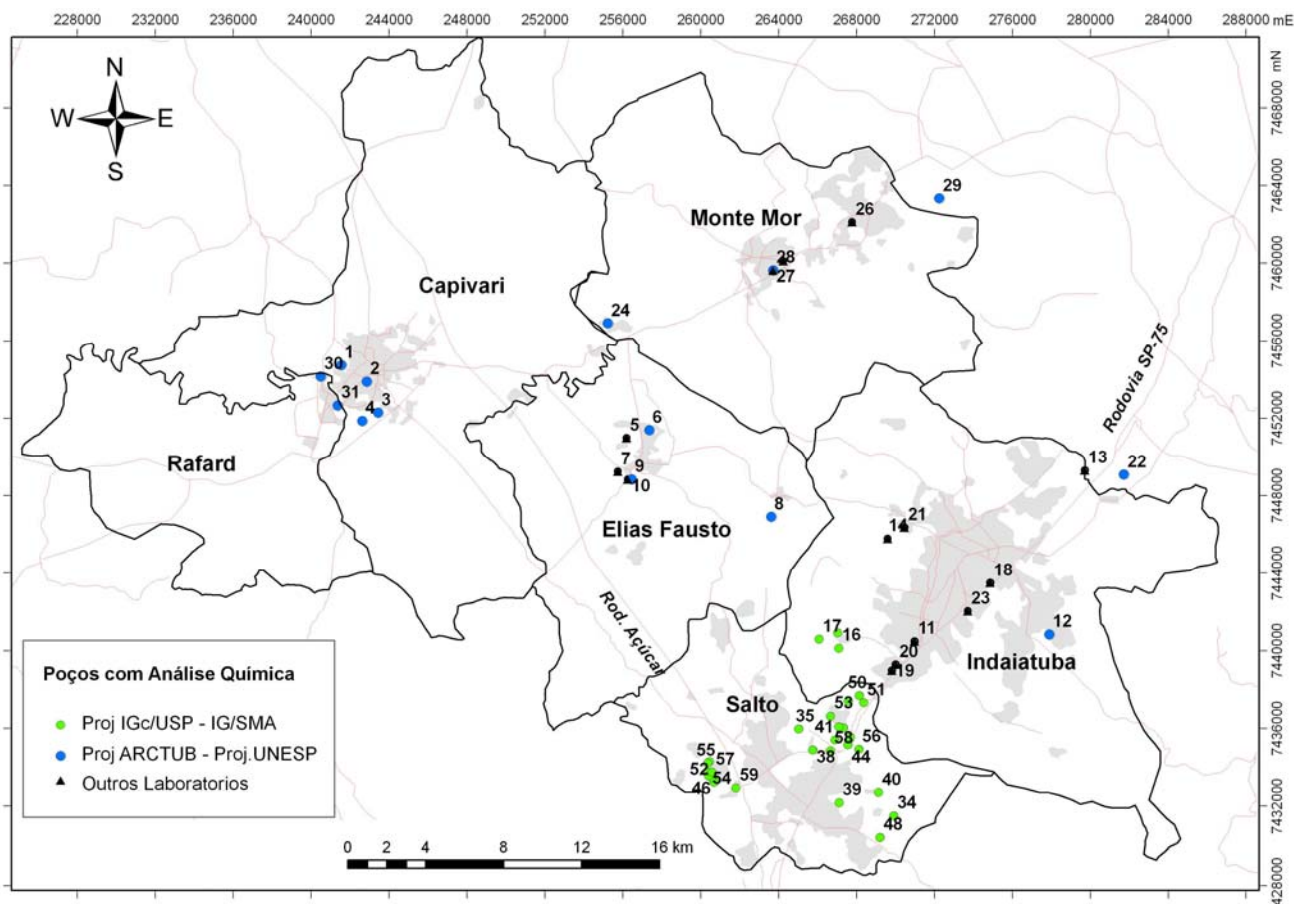
Os dados e informações de análise química foram compilados dos relatórios de poços compondo um banco de dados. Foram também incorporados dados de análises dos Municípios de Salto e Indaiatuba, referentes a Projeto de cooperação entre IG/SMA e IGc/USP apresentados por Ezaki *et al* (2008). Do total de 328 poços somente 59 apresentaram dados necessários para classificação hidroquímica.

### **Seleção de poços para amostragem**

Foram selecionados 13 poços tubulares destinados ao abastecimento público da região estudada, 2 poços em Indaiatuba, 2 em Monte Mor, 4 poços em Capivari, 3 em Elias Fausto, 2 em Rafard, para coleta de água subterrânea, exceto o Município de Salto, que não se utiliza de poços. A seleção de poços e amostragem foi efetuada em conjunto com o grupo de pesquisadores do Laboratório de Estudos de Bacias–LEBAC do Instituto de Geociências da Universidade Paulista – IGCE-UNESP/Campus Rio Claro que desenvolve estudos em seis bacias hidrográficas do Estado de São Paulo, uma das quais correspondendo à Bacia do Piracicaba, Capivari e Jundiaí. Desta forma, os resultados obtidos foram compartilhados entre UNESP/Rio Claro e IG/SMA nos seus respectivos estudos.

As amostras foram coletadas, preferencialmente, durante bombeamento, na saída do poço para caixa d'água ou diretamente em torneira, sempre com limpeza previa das linhas de tubulação pelo bombeamento prévio por 10 a 15 minutos.

A localização dos 13 poços amostrados (Projeto ARCTUB – Projeto UNESP), bem como dos 46 poços com dados compilados encontram-se na Figura 1.



**Figura 1. Localização dos poços tubulares profundos com dados de análise química nos municípios estudados.**

Os parâmetros analisados em campo foram: pH, Eh (com eletrodos de vidro e combinado de platina, marca DIGIMED), Temperatura, Condutividade Elétrica (marca Orion).

As amostras foram devidamente acondicionadas em frascos de polietileno (500 mL), preservadas à temperatura inferior a 4°C e encaminhadas para o Laboratório de Hidrogeologia e Hidroquímica, do Departamento de Geologia Aplicada do IGCE/UNESP, Campus de Rio Claro (SP), LEBAC-UNESP/Rio Claro, onde foram filtradas a vácuo em um conjunto Millipore, utilizando filtros de 0,45µm, e em seguida preservadas com ácido nítrico concentrado (14,4 M), com 2 gotas para cada 100 mL de amostra.

Para as análises físico-químicas foi adotado o *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (19ª edição, 1995). Para determinação dos cátions sódio e potássio foi utilizado o

método de espectrofotometria de absorção atômica. Os cátions magnésio, cálcio, manganês e ferro foram analisados por Espectrometria de Emissão Atômica com Fonte de Plasma de Argônio Indutivo (ICP-AES). A alcalinidade ( $\text{HCO}_3^-$ ) foi obtida por Titulação Potenciométrica, e os íons nitrato, sulfato e os ânions flúor e cloreto, determinados por Cromatografia Iônica (IC).

### **Tratamento dos dados**

A partir dos relatórios de poços foram compilados os dados físico-químicos para formar um banco de dados que permitiu a organização e seleção de poços para avaliação dos mesmos.

A caracterização hidroquímica foi efetuada para os poços que continham dados de pH, concentração de sódio, cálcio, potássio, magnésio, cloreto, sulfato, fluoreto e alcalinidade. Os dados foram tratados e lançados em Diagramas de Piper com recurso do programa AcquaChem (Waterloo Hydrogeologic, 2003) para classificação das águas.

Os valores de sólidos totais dissolvidos foram calculados pela razão: (TSD calculado / Condutividade Elétrica = 0,55 – 0,7). Utilizou-se o fator de conversão 0,65 obtido através da média de valores (TSD/CE) extraídos de relatórios de poços da região.

Os resultados de concentração de ferro total, manganês, fluoretos e de TSD em água de poços tubulares foram representados espacialmente utilizando-se o programa ArcView 9.2 (ESRI).

## **RESULTADOS E DISCUSSÕES**

Dentre os 59 poços com dados de concentração de íons maiores ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ), 14 exploram águas do Aquífero Cristalino, 27 do Aquífero Tubarão, 9 de poços mistos (Tubarão/Cristalino) e 9 de aquífero não definido (Tabela 3).

No Aquífero Cristalino as águas são do tipo bicarbonatadas sódicas (Na-Ca- $\text{HCO}_3$ ) e bicarbonatadas cálcicas (Ca-Na- $\text{HCO}_3$ , Ca- $\text{HCO}_3$ ), podendo ocorrer ocasionalmente alguns casos de águas sódicas enriquecidas em sulfato (Na-Ca- $\text{HCO}_3$ - $\text{SO}_4$ ) ou cloretos (Na-Ca- $\text{SO}_4$ -Cl). O pH médio das águas é de 7,13 variando de 5,19 a 8,01.

As águas do Aquífero Tubarão também são predominantemente bicarbonatadas sódicas (Na- $\text{HCO}_3$ , Na-Ca- $\text{HCO}_3$ ), podendo ocorrer águas bicarbonatadas cálcicas (Ca-Na- $\text{HCO}_3$ , Ca-Mg-Na- $\text{HCO}_3$ ) e magnesinas (Mg-Ca- $\text{HCO}_3$ ) e águas sulfatadas (Na- $\text{HCO}_3$ - $\text{SO}_4$ , Na-Ca- $\text{HCO}_3$ - $\text{SO}_4$ ). Os valores de pH variam de 6,7 a 9,2, e a média é de 8,00 denotando característica alcalina.

Os tipos predominantes de água nos poços mistos (Tubarão/Cristalino) são similares aos anteriores e o pH médio é de 7,47.

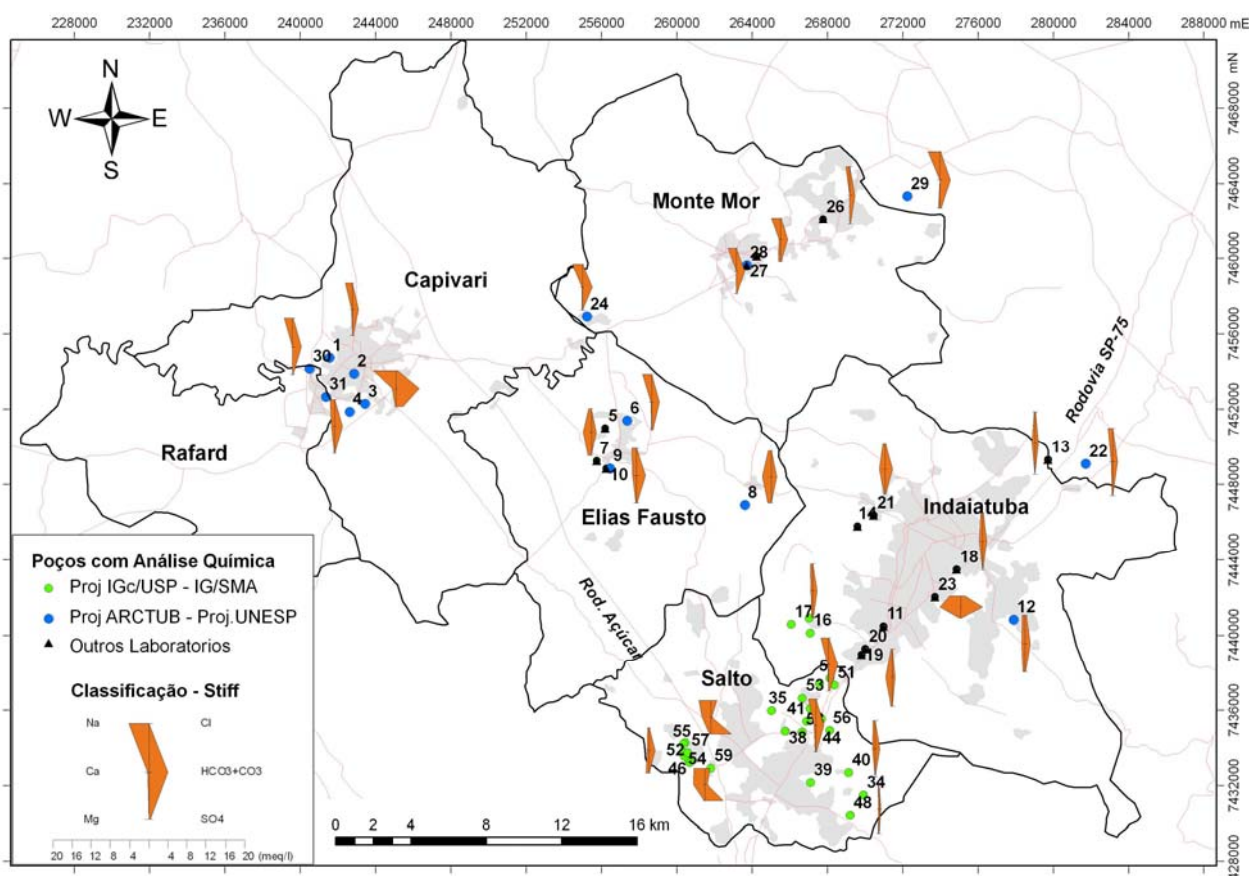
**Tabela 03. Características dos poços tubulares e classificação das águas subterrâneas.**

Amostra	UTME m	UTMN m	Município	Prof. m	Aqui- fero	Ano Info	Classificação	pH	HCO3	Na	Ca	mg/L				
												Mg	K	Cl	SO4	CO3
1	241540	7454750	Capivari	300	T	2009	Na-HCO3	8,30	163,0	50,4	8,7	1,4	0,3	0,6	7,5	<2,0
2	242850	7453900	Capivari	292	T	2009	Na-HCO3	7,90	148,0	58,5	3,4	0,8	0,2	5,3	12,1	<2,0
3	243426	7452292	Capivari	301	T	2009	Na-HCO3-SO4	8,30	154,0	60,6	10,4	1,0	0,3	3,5	36,1	<2,0
4	242610	7451880	Capivari	300	T	2009	Na-Ca-HCO3	7,80	181,0	42,5	25,5	1,7	1,0	0,5	2,3	<2,0
5	256197	7450993	Elias Fausto	230	T	2003	Na-HCO3-CO3	8,46	107,1	72,7	4,3	0,4	0,8	<1,0	26,8	32,3
6	257363	7451410	Elias Fausto	252	T	2009	Na-HCO3	8,40	164,0	57,9	2,2	0,3	0,3	0,3	6,3	<2,0
7	255742	7449246	Elias Fausto	301	T	1990	Ca-Mg-Na-HCO3	7,70	131,0	28,0	68,6	16,2	1,9	3,1	5,5	
8	263616	7446913	Elias Fausto	172	T	2009	Ca-Na-HCO3	7,90	188,0	29,7	32,3	6,2	2,1	0,4	2,4	<2,0
9	256440	7448850	Elias Fausto	320	T	2009	Na-Ca-HCO3	7,90	194,0	35,6	27,3	3,9	2,1	0,7	5,3	<2,0
10	256255	7448845	Elias Fausto	120	T	1988	Mg-Ca-HCO3	8,30	121,0	11,0	55,3	37,7	3,0	6,0	2,0	
11	270980	7440500	Indaiatuba	112	T	1977	Na-Ca-HCO3	6,80	100,0	135,0	32,0	1,7	3,0	6,0	49,0	0,0
12	277878	7440847	Indaiatuba	80	T	2009	Ca-Na-Mg-HCO3	7,10	109,0	22,3	24,7	10,2	3,2	11,3	7,3	<2,0
13	279709	7449317	Indaiatuba	252	TC	1980	Ca-Na-HCO3	6,60	60,0	9,6	18,4	0,5	2,2	6,0	0,0	0,0
14	269600	7445800	Indaiatuba	150	C	1980	Ca-Na-HCO3	6,60	122,0	18,4	29,6	0,5	4,7	3,0	0,0	0,0
15	267020	7440950	Indaiatuba	150	T	2008	Na-HCO3-SO4-Cl	7,84	74,4	71,9	3,0	0,3	0,9	23,9	44,6	
16	267080	7440150	Indaiatuba	167	TC	2008	Ca-Na-Mg-HCO3	6,88	79,0	9,6	17,1	4,4	1,8	<2,0	<5,0	
17	266080	7440610	Indaiatuba	150	TC	2008	Na-Ca-HCO3	6,87	97,6	20,1	15,8	4,5	2,1	2,6	10,5	
18	274850	7443500	Indaiatuba	150	TC	1980	Ca-Na-HCO3	8,40	82,0	14,8	23,2	0,5	3,9	5,0	2,3	2,0
19	269800	7439000	Indaiatuba	150	T	1976	Ca-Na-HCO3	6,70	52,0	10,0	48,0	5,0	6,0	1,5	0,0	0,0
20	270000	7439300	Indaiatuba	180	TC	1973	Mg-Na-Ca-HCO3	6,50	38,0	30,5	22,0	23,5	15,0	2,5	25,4	0,0
21	270.447	7446380	Indaiatuba	192	T	2001	Ca-Na-HCO3	7,11	184,0	22,7	44,5	6,5	3,4	8,0	8,5	0,0
22	281710	7449098	Indaiatuba	162	C	2009	Na-Ca-HCO3	7,60	91,4	28,9	9,4	1,9	<0,20	5,4	11,4	<2,0
23	273700	7442050	Indaiatuba	206	C	1979	Ca-Na-HCO3	6,50	60,0	11,6	19,2	0,9	2,3	6,0	0,0	0,0
24	255212	7456920	Monte Mor		ND	2009	Na-HCO3	9,00	241,0	99,5	1,2	0,2	<0,20	0,9	7,2	11,3
25	264231	7460120	Monte Mor	350	T	1993	Na-HCO3	9,20	191,0	99,0	2,1	4,1	<1,0	10,2	25,0	
26	267758	7462124	Monte Mor	300	T	1993	Na-HCO3-CO3	9,20	162,0	99,0	2,1	4,1	<1,0	10,2	25,0	29,8
27	263700	7459650	Monte Mor	315	T	2009	Na-HCO3	9,20	192,0	88,0	1,0	0,1	1,9	1,7	12,3	16,6
28	263700	7459650	Monte Mor	315	T	1987	Na-HCO3	8,60	192,0	96,0	17,1	11,5		4,9	12,6	
29	272230	7463350	Campinas		T	2009	Na-HCO3	8,00	103,0	32,4	2,5	0,2	0,8	0,3	3,6	<2,0
30	240480	7454160	Rafard	251	T	2009	Na-HCO3	8,80	234,0	97,5	1,6	0,1	1,9	6,6	12,8	7,0
31	241350	7452680	Rafard	300	T	2009	Na-HCO3	9,10	170,0	69,5	1,3	0,1	0,5	1,4	9,1	8,7
32	267621	7435457	Salto	160	ND	2008	Na-Ca-HCO3-SO4	8,08	144,1	62,8	20,8	1,1	0,7	13,9	48,5	
33	267695	7435568	Salto	182	C	2008	Na-Ca-HCO3-SO4	8,01	167,4	68,5	22,4	1,4	0,8	15,8	51,9	
34	269905	7431525	Salto	160	ND	2008	Na-Mg-HCO3	6,87	46,5	12,4	3,0	5,6	0,3	0,5	1,3	
35	265031	7435988	Salto	282	tc	2008	Na-HCO3	8,56	130,2	71,1	3,3	0,1	0,2	2,1	12,4	18,6
36	267177	7436018	Salto	216	T	2008	Na-Ca-HCO3-SO4	8,17	130,2	55,0	17,3	0,6	0,6	8,7	35,8	
37	267329	7436052	Salto	200	T	2008	Na-Ca-HCO3-SO4	8,21	130,2	54,7	16,9	0,6	0,6	7,6	35,0	
38	265746	7434903	Salto	170	TC	2008	Na-Ca-HCO3-SO4	7,94	88,3	61,6	17,1	1,2	0,2	9,0	63,5	
39	267098	7432181	Salto	142	C	2008	Ca-HCO3	7,41	195,3	18,1	60,0	6,2	7,9	7,7	13,3	
40	269124	7432704	Salto	175	C	2008	Ca-Na-HCO3	7,25	88,3	16,8	18,8	1,4	2,5	<2,0	<5,0	
41	266887	7435416	Salto	300	ND	2008	Na-Mg-Ca-HCO3	6,46	65,1	7,5	4,3	3,6	1,8	0,3	0,3	
42	267089	7436108	Salto	54	ND	2008	Ca-Na-Mg-HCO3-SO4-Cl	7,54	106,9	17,8	15,6	7,4	2,0	<2,0	<5,0	
43	267566	7437427	Salto	150	T	2008	Na-Ca-Mg-HCO3-SO4	7,16	93,0	24,8	15,3	8,8	2,1	9,9	40,1	
44	267562	7435168	Salto	65	T	2008	Na-Ca-HCO3	7,61	148,8	30,5	21,0	4,5	0,9	<2,0	8,8	
45	260762	7433382	Salto	300	C	2008	Na-Ca-HCO3	7,97	158,1	32,2	16,6	5,1	1,4	<2,0	<5,0	
46	260680	7433229	Salto	140	C	2008	Na-Ca-SO4-Cl	7,45	65,1	102,0	53,1	11,3	1,6	70,0	288,0	
47	260439	7434302	Salto	117	ND	2008	Na-Mg-Ca-HCO3	6,22	60,4	10,4	8,7	5,3	2,9	3,7	0,6	
48	269200	7430430	Salto	40	C	2008	Na-K-Cl-HCO3	5,19	13,9	6,3	0,1	0,6	8,5	8,6	0,2	
49	260393	7433757	Salto	138	c	2008	Na-Ca-Mg-HCO3	7,39	120,9	27,6	20,0	6,4	1,8	3,9	15,1	
50	268137	7437717	Salto	150	T	2008	Mg-Ca-HCO3	7,61	158,1	9,6	10,9	10,0	2,7	0,2	1,5	
51	268359	7437340	Salto	276	TC	2008	Na-HCO3	8,06	209,2	65,5	5,3	2,3	0,9	9,1	24,1	
52	260565	7433455	Salto	138	ND	2008	Ca-Na-HCO3-SO4	7,20	111,6	13,2	25,5	5,7	2,3	5,0	24,8	
53	266659	7436658	Salto	175	T	2008	Na-HCO3	7,27	134,8	36,4	5,5	3,2	1,2	1,6	4,9	
54	260414	7433560	Salto	172	TC	2008	Mg-Ca-Na-HCO3	7,45	158,1	13,9	17,4	16,1	2,0	0,6	1,1	
55	260348	7434223	Salto	80	ND	2008	Na-SO4-Cl	9,89	32,5	140,9	28,9	18,2	0,6	64,2	258,9	23,2
56	268108	7434943	Salto	450	C	2008	Na-Ca-HCO3	7,02	223,2	54,3	31,0	2,6	1,6	4,0	<5,0	
57	260580	7433750	Salto	120	C	2008	Na-Ca-SO4-Cl	6,32	32,5	166,0	108,0	11,1	1,1	125,0	590,0	
58	266663	7434854	Salto	180	C	2008	Na-Ca-HCO3	7,87	186,0	59,9	13,9	1,2	0,2	2,8	16,6	
59	261798	7432931	Salto	198	C	2008	Ca-Na-SO4	7,30	93,0	164,1	144,0	5,3	0,9	108,0	555,0	

Aquífero: T=Tubarão; C=Cristalino; TC=Tubarão/Cristalino; ND=Não Definido

Pela análise do balanço iônico das amostras 7, 10, 11, 19, 20 e 28, foram constatados elevados erros práticos, superiores a 25%, chegando a atingir valores em torno de 50%. As classes de águas obtidas para estas amostras são apresentadas na Tabela 3, mas não foram consideradas na avaliação geral dos aquíferos.

Foram selecionadas algumas amostras para confecção de diagramas de Stiff para representação das classes predominantes de águas encontradas na área de estudo (Figura 2).



**Figura 2. Localização dos poços tubulares profundos com dados de análise química nos municípios estudados.**

Constata-se que em Indaiatuba predominam águas bicarbonatadas cálcicas e em direção a oeste, Elias Fausto, Monte Mor, Capivari, predominam águas bicarbonatadas sódicas. O mesmo ocorre, em direção a Salto, a sudoeste. Estas características foram observadas por Vidal *et al* (2005) que as correlacionou ao aumento dos valores de condutividade elétrica, da borda da Bacia Sedimentar do Paraná em contato e sobrepondo o Embasamento Cristalino pré-cambriano (onde estão situados Indaiatuba e Salto) em direção ao interior e às áreas de descarga (Rio Tietê em Salto).



## **Ferro**

O ferro é o quarto elemento mais abundante na crosta terrestre e o metal pesado mais abundante no ambiente, principalmente como Fe (II) ou Fe (III). A presença de ferro em águas naturais pode ser atribuída ao intemperismo de rochas e minerais, drenagem de águas ácidas de minas, lixiviados de aterro, efluentes de esgotos e indústrias relacionadas com ferro (CCREM, 1987).

Geralmente está presente nas águas superficiais, quando o pH é maior que 7, como sais contendo Fe (III). A maioria dos sais é insolúvel e estabelecem-se ou são adsorvidos nas superfícies. Sob condições de redução, que possam existir em algumas águas subterrâneas, lagos ou reservatórios, e na ausência de sulfeto e carbonato, podem ser encontradas altas concentrações de Fe (II) solúvel (WHO, 2003).

O ferro é um elemento essencial na nutrição humana, mas sua ingestão em grandes quantidades pode acarretar efeitos tóxicos, embora não haja provas que indiquem que as concentrações de ferro comumente presente nos alimentos ou água constituam qualquer perigo para a saúde humana. Portanto, uma concentração máxima aceitável não foi definida.

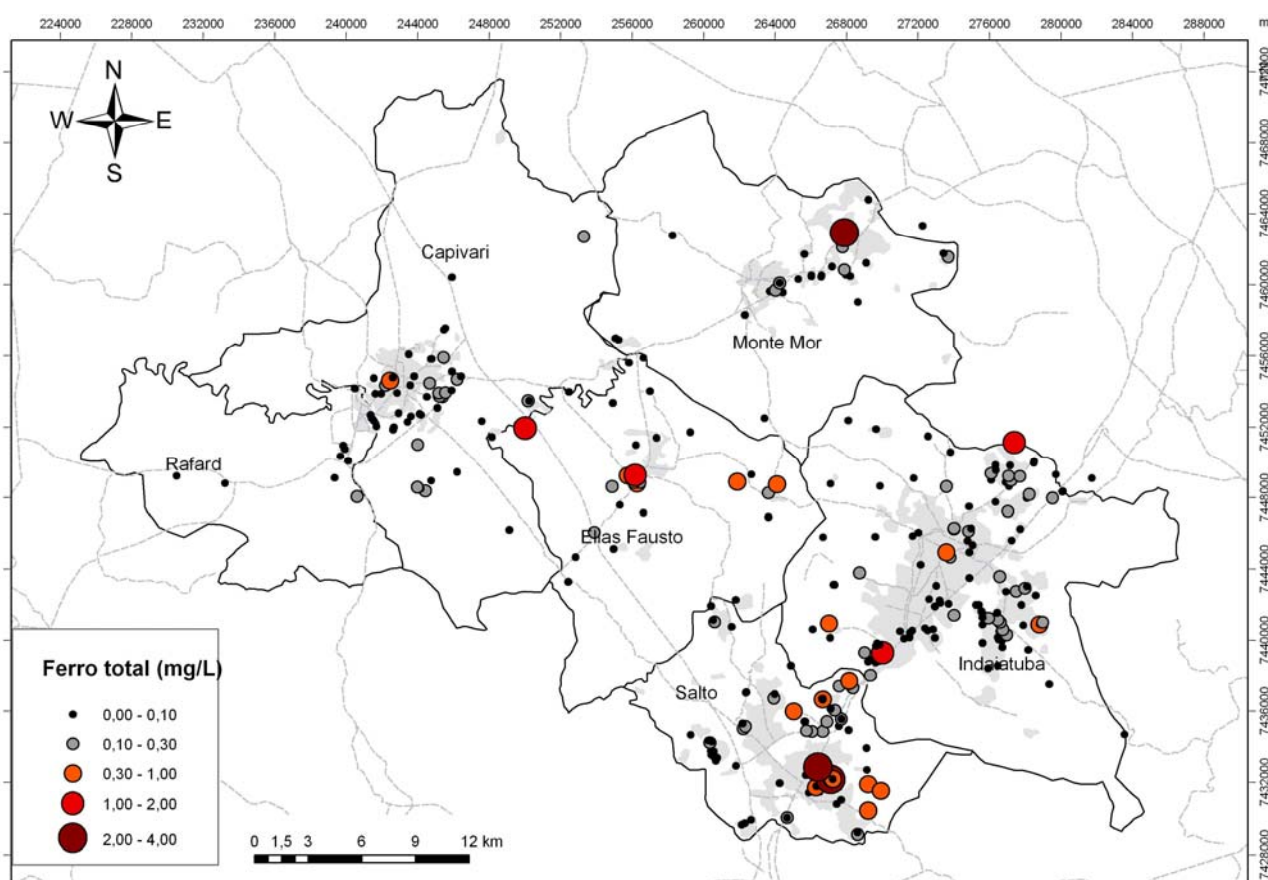
A ingestão de grandes quantidades de ferro resulta em hemocromatose, uma condição em que os mecanismos de regulação não funcionam eficazmente, levando a danos nos tecidos, como resultado da acumulação de ferro. Esta condição raramente se desenvolve a partir de simples sobrecarga dietética. O dano tecidual ocorre, entretanto, em associação com a ingestão excessiva de ferro em bebidas alcoólicas em alguns casos de alcoolismo, e devido consumo prolongado de alimentos ácidos cozidos em utensílios de cozinha de ferro (WHO, 2003).

A presença de ferro na água de abastecimento destinada ao uso doméstico é desagradável por um número de razões que não estão relacionados à saúde. Sob determinadas condições de pH prevalentes no abastecimento de água potável, os sais de Fe (II) são instáveis e reagem com água para formar hidróxidos insolúveis, que conferem cor de ferrugem à água. A água em que isso ocorre muitas vezes apresenta aparência e gosto intragável, podendo manchar a roupa, utensílios domésticos e as canalizações. No sistema de distribuição, o ferro pode formar depósitos na rede de distribuição e reduzir gradualmente o caudal através do tubo. O ferro pode também promover o crescimento de ferro-bactérias. Estes microrganismos obtêm energia a partir da oxidação do Fe (II) a Fe (III), e, no processo, uma camada viscosa é depositada nas condutas de distribuição de água, levando contaminação biológica na água para consumo humano.

Os problemas acima geralmente surgem quando a concentração de ferro é superior 0,3 mg /L. Por estes motivos, o ferro também se constitui um Padrão de Potabilidade, tendo sido estabelecida a concentração limite de 0,3 mg/L na Portaria 518 do Ministério da Saúde. É também padrão de

emissão de esgoto e de classificação das águas naturais. No Estado de São Paulo, estabelece-se o limite de 15 mg/L para concentração de ferro solúvel em efluentes descarregados na rede coletora de esgotos seguidos de tratamento (Decreto No. 8468) ([www.cetesb.sp.gov.br](http://www.cetesb.sp.gov.br)).

Ao se analisar os resultados de águas de 289 poços na área estudada, constatou-se que em 30 casos o limite de potabilidade foi ultrapassado (Figura 3). O valor médio da concentração de ferro nesta região é de 0,19 mg/L, a mediana de 0,09 mg/L, variando de 0,00 a 3,22 mg/L. A ocorrência do ferro em concentrações elevadas pode estar relacionada às características das formações geológicas da região ou a problemas construtivos do poço.



**Figura 03. Localização dos poços com resultado de ferro total e respectiva faixa de concentração.**

## Manganês

O manganês é um elemento que acompanha o ferro em virtude do seu comportamento geoquímico. Ocorre normalmente em teores abaixo de 0,2 mg/L, quase sempre como óxido de manganês bivalente, que se oxida em presença do ar, dando origem a precipitados negros. Está presente nas águas superficiais, dissolvido ou em suspensão, geralmente em concentrações abaixo de 0,05 mg/L. O manganês é mais prevalente nas águas subterrâneas do que nas águas superficiais

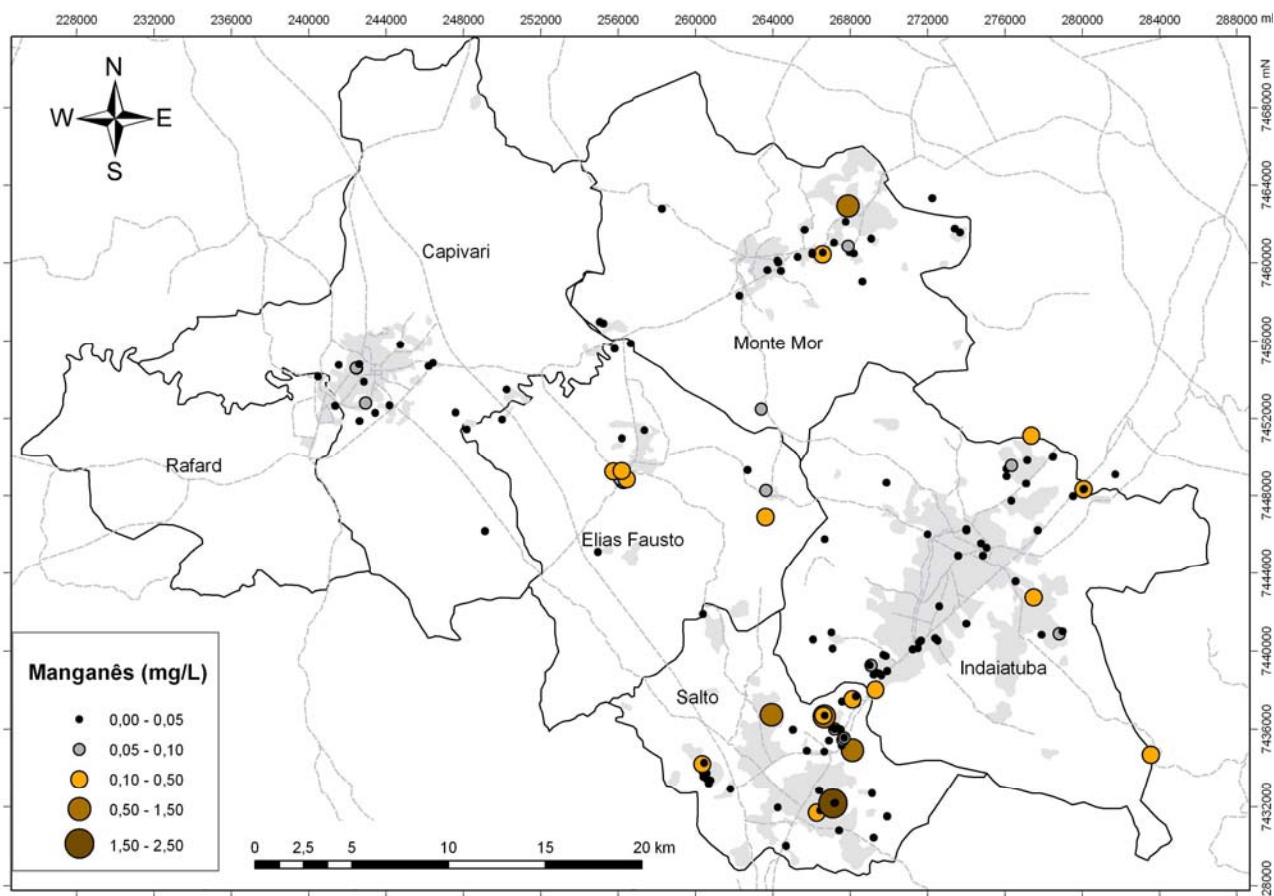
devido ao ambiente redutor que existe na água subterrânea. Concentrações mais altas de manganês também podem ser encontradas em lagos e represas, como resultados da poluição ácida (WHO, 2003).

A presença de manganês no fornecimento de água potável pode ser desagradável por razões não relacionados à saúde. Em concentrações superiores a 0,15 mg /L, o manganês confere cor e sabor desagradável à água, provocando manchas de coloração preta em roupas e utensílios sanitários. A oxidação de íons de manganês em solução resulta em precipitação de óxidos de manganês e problemas de incrustações. Mesmo em concentrações de aproximadamente 0,02 mg /L, o manganês pode formar revestimentos nas tubulações de distribuição de água que podem se desprender como precipitados de cor preta (WHO, 2003)<sup>1</sup>. O crescimento de certos organismos é também favorecido pelo manganês. A presença de "manganês-bactérias" que concentram o manganês pode dar origem ao problema de sabor, odor e turbidez da água distribuída.

É um dos elementos menos tóxicos para os mamíferos; apenas a exposição a altas concentrações resultou em efeitos na saúde humana. Em teores superiores a 0,15 mg/L, o manganês confere cor e sabor à água, provocando manchas em roupas e utensílios sanitários.

Também se constitui em Padrão de Potabilidade, tendo sido estabelecida a concentração limite de 0,1 mg/L na Portaria 518 do Ministério da Saúde. Apesar deste limite recomendado não representa uma ameaça para a saúde. Água potável com concentrações maiores pode ser consumida com segurança ([www.cetesb.sp.gov.br](http://www.cetesb.sp.gov.br)).

Do total de laudos de análises químicas levantados na área estudada, 98 apresentaram registros de concentração de manganês (Figura 4). Destes, 25 poços apresentam águas com valores acima do padrão de potabilidade, chegando a atingir 2,2 mg/L, sendo a média de 0,18 mg/L e mediana de 0,05 mg/L. Ao se analisar as Figuras 3 e 4 observa-se que nos poços onde ocorrem elevados teores de manganês, também apresentam ferro acima da potabilidade.



**Figura 04: Localização dos poços com resultados de manganês.**

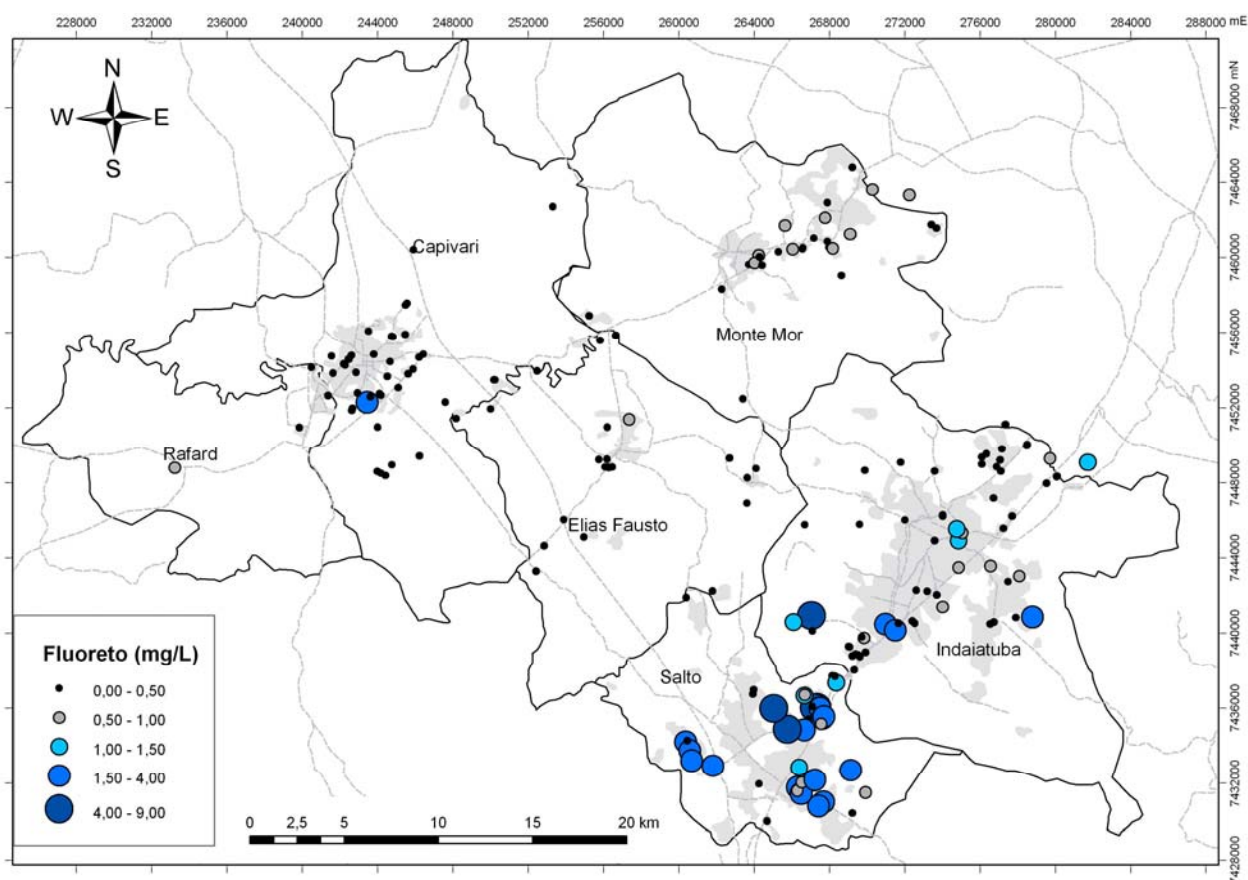
## Fluoreto

A presença de íons fluoreto nas águas é considerada benéfica à saúde bucal, na dosagem de 0,7 mg/L, podendo variar de 0,6 a 0,8 mg/L, uma vez que o flúor fortalece o esmalte do dente e inibe sua desmineralização, prevenindo à cárie ([www.sabesp.com.br](http://www.sabesp.com.br)). A ingestão contínua de águas com concentrações elevadas pode acarretar riscos à saúde, como a doença fluorose esquelética ou dentária, sendo esta identificada por leves manchas esbranquiçadas no esmalte do dente até manchas castanhas levando a fratura na estrutura dental; pode também ocasionar mal estar, ânsia, vômitos e até a morte quando associada à toxicidade. O limite para ingestão em água potável considerado pela Organização Mundial de Saúde é de 1,5 mg/L (WHO, 2006), também adotado pela Portaria Nº 518 do Ministério da Saúde.

A fonte de fluoreto para as águas pode estar associada a atividades industriais como cerâmica, produção de alumínio, fertilizantes (rochas fosfáticas), fabricação de sabões e detergentes, preparação de couros, entre outras. Mas também pode ter sua origem na alteração e hidrólise de minerais de rocha enriquecidos em flúor, sob condições específicas de pH, temperatura, alcalinidade, etc., do meio por onde a água subterrânea percola.

Ezaki et al (2008) consideram a presença de flúor nas águas subterrâneas como ocorrência natural associada à alteração de minerais das rochas sedimentares e graníticas da região, com teores mais elevados no Aquífero Tubarão em relação ao Cristalino. O teor médio (1,39 mg/L) de fluoreto ultrapassam os valores de referência VRQ estabelecidos pela CETESB (0,60 mg/L) para os aquíferos analisados. Assim como outros autores, foram constatadas correlações positivas entre as concentrações de fluoreto, valores de pH superiores a 7,5 e teores elevados de sódio.

Considerando 211 poços levantados na região de estudo, 25 ultrapassam o limite de potabilidade, predominando nos municípios de Salto e Indaiatuba, e pontualmente em Capivari (Figura 5). O teor médio de fluoreto nas águas é de 0,76 mg/L e mediana 0,27 mg/L, atingindo o máximo de 8,75 mg/L.



**Figura 05. Localização de poços com resultado de flúor.**

### Total de Sólidos Dissolvidos (TSD)

Outro aspecto relevante na região é a ocorrência de água com sabor amargo/salgado, conforme depoimentos de moradores de Salto e Indaiatuba, que denominam a água subterrânea destes poços como salobra.

Conforme Freeze & Cherry (1979), as águas são classificadas quanto a salinidade da seguinte forma: 0-1 g/L – águas doces; 1-10 g/L – salobras; 10-100 g/L – salinas; > 100 g/L – salmouras. Em

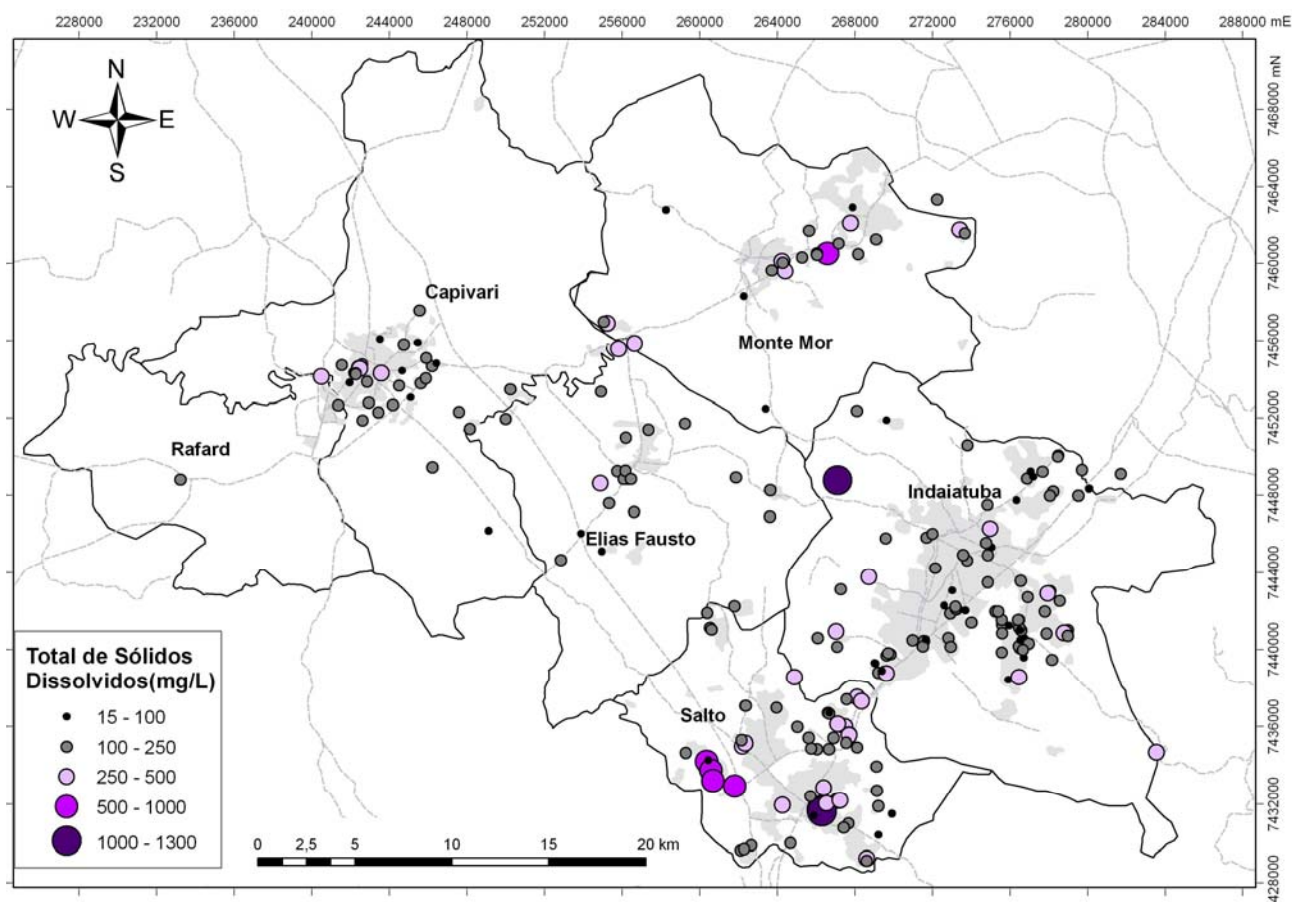


termos de águas superficiais a Resolução CONAMA Nº 357, de 17/03/2005, as classifica no território nacional em: doces – TSD<500 mg/L; salobras – 500<TSD<30.000 mg/L; e salgadas – TSD>30.000 mg/L.

O Padrão de aceitação para consumo humano, segundo Portaria de Potabilidade Nº 518, de 25/03/2004, do Ministério da Saúde, é de no máximo 1000 mg/L de total de sólidos dissolvidos.

Menegasse *et al.* (2003) utilizam como referência o trabalho de COPASA/ Hidrossistemas (1995) para atribuir qualidade de água para consumo humano e irrigação, conforme faixa de concentração de sólidos totais dissolvidos (mg/L): TSD ≤ 150 – Boa; 150<TSD≤500 – Razoável; 500< TSD – Tolerável; TSD >1000 Inaceitável.

Para análise de TSD foram considerados 235 poços (Figura 6), dos quais 17% apresentam valores na faixa de 10 a 100 mg/L; 63,4% entre 100 e 250 mg/L; e 15,7% entre 250 e 500 mg/L. A maioria, portanto, apresenta qualidade de boa a razoável conforme Menegasse *et al.* (2003). Uma pequena parcela apresenta elevados valores de TSD, dos quais 2,6% na faixa de 500 a 1000 mg/L e 1,3% com valores maiores que 1000 mg/L sendo já consideradas águas salobras.



**Figura 06: Mapa de concentração de total de sólidos dissolvidos em poços profundos.**

## CONCLUSÃO

Com os dados obtidos até o presente momento, foi possível ter uma avaliação preliminar das características naturais das águas subterrâneas da região entre Indaiatuba e Rafard. Predominam águas do tipo bicarbonatada cálcica na região de Indaiatuba e em direção ao interior, a oeste, elas adquirem características de águas bicarbonatadas sódicas, predominantemente.

Constatou-se que apenas alguns parâmetros (ferro, manganês, fluoreto e total de sólidos dissolvidos) ultrapassaram os valores máximos permitidos pela referida Portaria N° 518/04 do Ministério da Saúde.

A ocorrência de fluoreto em elevadas concentrações em Salto e Indaiatuba podem ser associadas a anomalias geoquímicas naturais, embora esta hipótese careça de estudos complementares e investigação de fontes potenciais de contaminação. Assim como o fluoreto, os níveis elevados de ferro e manganês também podem estar relacionados às características naturais das unidades geológicas locais, embora seja necessária uma avaliação dos aspectos construtivos dos poços no caso de elevadas concentrações de ferro.

Apesar destas constatações, as águas apresentam, de modo geral, qualidade aceitável para consumo humano, para os parâmetros analisados.

Não foi possível avaliar o impacto de outros parâmetros de qualidade da água, uma vez que poucos foram os laudos com informações completas. Numa região industrializada como nos Municípios de Indaiatuba, Salto e Monte Mor, seria imprescindível a existência de dados referentes a metais pesados, assim como dados referentes a fertilizantes, pesticidas e agrotóxicos em áreas rurais.

Somente 46 poços apresentaram resultados de íons maiores ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ), que permitem a classificação das águas e a determinação do erro analítico e, portanto, uma avaliação da qualidade do serviço laboratorial.

Para finalização deste trabalho serão efetuadas outras campanhas de amostragem e análise química de águas para a determinação de cátions (sódio, potássio, silício, magnésio, cálcio, estrôncio, zinco, fósforo, chumbo, cobalto, cádmio, níquel, manganês, ferro, cromo, alumínio, cobre e bário), ânions (fluoreto, cloreto, sulfato, nitrato) e alcalinidade.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CANADIAN COUNCIL OF RESOURCE AND ENVIRONMENT MINISTERS - CCREM. Canadian water quality guidelines. Prepared by the Task Force on Water Quality Guidelines, March (1987).

CETESB. Consulta ao site <http://www.cetesb.sp.gov.br>, em março de 2010.

EZAKI, S.; Hypolito, R.; Pérez-Aguilar, A.; Moschini, F.A; Moura, C.L.; Pugas, M.S. 2008. Avaliação da Ocorrência de Íon Fluoreto nas Águas Subterrâneas dos Aquíferos Tubarão e Cristalino, Região de Salto (SP). *In: I Congresso Internacional de Meio Ambiente Subterrâneo*. ABAS, São Paulo.

FREEZE, R. A.; CHERRY, A. *Groundwater*. Englewood Cliffs ; London : Prentice-Hall. 1979.

MENEGASSE, L.N.; OLIVEIRA, F.R.; MOURAO, M.A.A.; DUARTE, U.; CASTRO, R.E.; DINIZ, A.M.A.; ELMIRO, M.A.Y. ; PEREIRA. P. E. 2003. Hidroquímica das Águas Subterrâneas do Médio Jequitinhonha, Minas Gerais, Brasil. *Revista Latino-Americana de Hidrogeologia*, n.3, p.49-58, 2003.

PEREIRA, S.Y. *Proposta de representação cartográfica na avaliação para estudo de planejamento e meio ambiente. Exemplo da Região Metropolitana de Campinas-SP*. Tese de Doutorado. Instituto de Geociências, USP, São Paulo, 190 p. 1997.

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO – SNIS / Ministério das Cidades. Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgoto. 2008. (Disponível em <http://www.snis.gov.br>).

VIDAL, A.C.; ROSTIROLLA, S.P.; KIANG, C.H. 2005. Análise de favorabilidade para a exploração de água subterrânea na Região do Médio Tietê, Estado de São Paulo. *Revista Brasileira de Geociências*, Vol. 35, p.475-481.

WHO-World Health Organization. *Iron in drinking-water. Background document for preparation of WHO Guidelines for drinking-water quality*. Geneva, (WHO/SDE/WSH/03.04/8). 2003.

SABESP. Consulta ao site <http://www.sabesp.com.br>, em 2009.

WHO-World Health Organization. *Fluoride in Drinking-water*. World Health Organization titles with IWA Publishing. Printed by TJ International (Ltd), Padstow, Cornwall - UK. 2006.