

# HIDROQUÍMICA DOS AQUÍFEROS TUBARÃO, CRISTALINO E DO MANTO DE INTEMPERISMO DA REGIÃO DE SALTO-INDAIATUBA (SP)

Sibele Ezaki<sup>1</sup>; Raphael Hypolito<sup>2</sup>; Annabel Pérez-Aguilar<sup>3</sup>; Daniela Gamito<sup>4</sup>; Cláudia Lúcia Moura<sup>5</sup>; Marisa Santiago Pugas<sup>6</sup>; Janaína Mara Fortunato<sup>7</sup>, Silvia Cremonez Nascimento<sup>8</sup>

## RESUMO

Caracterização hidroquímica preliminar dos Aquíferos Tubarão, Cristalino e do Manto de Intemperismo foi realizada em duas áreas-alvo que abrangem micro-bacias na porção centro-oeste do Município de Salto (SP), estendendo-se do Rio Tietê à porção sul do Município de Indaiatuba (SP). Foram identificados poços tubulares com águas salobras e elevadas concentrações de fluoreto e sólidos totais dissolvidos que constituem restrição ao uso das águas. As fontes destas anomalias podem estar associadas à hidrólise de feldspatos de rochas graníticas e à percolação de fluidos hidrotermais através de fraturas. Contudo, a discussão sobre suas origens depende de estudos aprofundados envolvendo pesquisa geoquímica e estrutural da região. Estes estudos conduzirão ao melhor aproveitamento dos recursos hídricos subterrâneos, em termos de definição mais segura de áreas potenciais ou de restrição para exploração das águas subterrâneas.

## ABSTRACT

Preliminary hydrochemical characterization of groundwaters in Salto and Indaiatuba Municipal Districts, São Paulo State, identified drilling wells with saline waters and high fluoride and total dissolved solids concentrations, which constitute restrictions for the use of water. The sources of these anomalies can be related to hydrolysis of feldspars from granitic rocks and to percolation of hydrothermal fluids through faults. Thus, further and more detailed hydrogeochemical studies from the Crystalline, Tubarão and intemperism mantle Aquifers are required. The results of this study will conduct to water resources protection and an adequate use, considering the definition of potential or restriction areas for aquifer exploration by drilling wells.

**PALAVRAS-CHAVE:** Hidroquímica; Aquíferos; Fluoreto

---

<sup>1</sup> Instituto Geológico-Secretaria do Meio Ambiente – Av. Miguel Stéfano 3900, São Paulo-SP. CEP:04301-903; (11) 5073-5511; sibezaiki@igeologico.sp.gov.br; sibezaiki@usp.br.

<sup>2</sup> Instituto de Geociências – USP – Rua do Lago 562, Cidade Universitária, São Paulo-SP: CEP:05508-080; (11) 3091-4145; rhyppo@igc.usp.br

<sup>3</sup> Instituto Geológico-Secretaria do Meio Ambiente; anaperez@igeologico.sp.gov.br.

<sup>4</sup> Instituto de Geociências – USP; dgamito@yahoo.com.br.

<sup>5</sup> Instituto de Geociências – USP; clau\_clau@uol.com.br;

<sup>6</sup> Instituto de Geociências – USP; mspugas@yahoo.com.br

<sup>7</sup> Instituto de Geociências – USP; janafortunato@globo.com.

<sup>8</sup> Instituto de Geociências – USP; scremo@usp.br

## 1 – INTRODUÇÃO

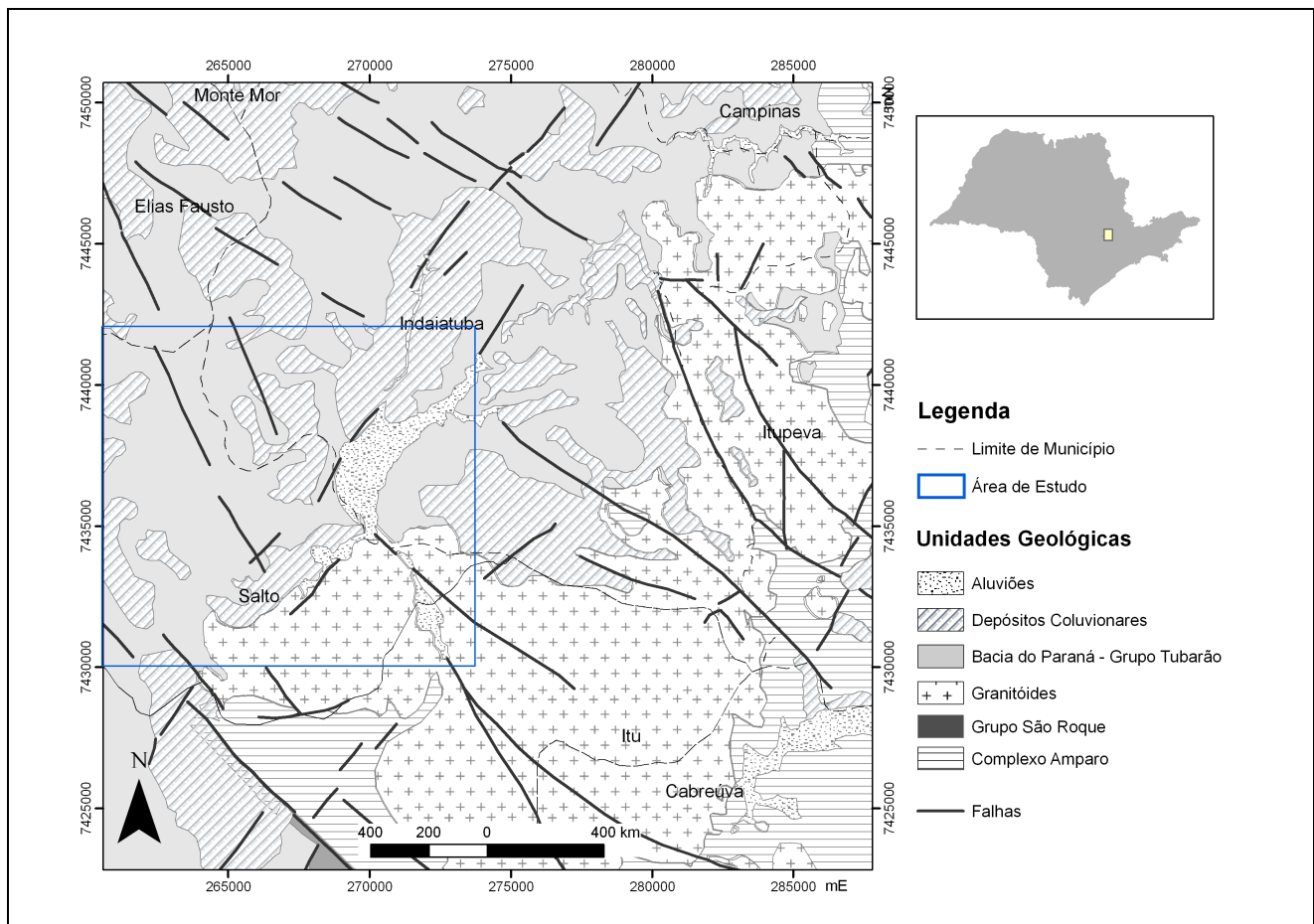
Estão sendo apresentados resultados preliminares da caracterização hidroquímica dos Aquíferos Tubarão (Sub-Grupo Itararé), Cristalino e do manto de intemperismo da região que abrange distritos industriais dos municípios de Salto e Indaiatuba (SP).

Faz parte da primeira etapa de um Projeto de Pesquisa que tem como objetivos avaliar a qualidade das águas subterrâneas, estudar os processos hidrogeoquímicos da interação água-solo-rocha e mecanismos que controlam o comportamento de contaminantes, naturais ou de origem antropogênica.

Na Região, foram identificados poços tubulares profundos com elevados teores de fluoretos e totais de sólidos dissolvidos que restringem seu uso potencial. Devido a baixa disponibilidade de água subterrânea de poços profundos e a comum ocorrência de águas salobras, a população tem adotado o uso de água do aquífero freático, por meio de poços cacimba. Por serem muito susceptíveis a agentes contaminantes, estas águas rasas necessitam de especial cuidado quanto à sua proteção. Este projeto resultará em definição de critérios e medidas de proteção bem como de aproveitamento de águas subterrâneas e, conseqüentemente, no controle de sua qualidade.

## 2 - ÁREA ESTUDADA

No contexto geológico, a área estudada situa-se na borda leste da Bacia Sedimentar do Paraná, onde sedimentos do Grupo Tubarão/Subgrupo Itararé (Permiano-Carbonífero) recobrem o Embasamento Cristalino (pré-Cambriano). Estes sedimentos foram depositados em ambiente glácio-marinho e consolidaram-se em litotipos bastante variáveis e descontínuos representados por intercalações e associações de arenitos, siltitos, folhelhos, argilitos, diamictitos e ritmitos (DAEE-UNESP, 1980; Salvetti, 2005). O Embasamento é constituído, nesta região, de rochas metamórficas do Complexo Amparo, representadas por migmatitos, quartzitos, xistos e gnaisses (Ebert, 1968; 1971; Neves, 2005), e foram cortadas por granitóides intrusivos (Janasi *et al.*, 1990; Artur, 2003; Gallemebeck, 1997). (Figura 1)



**Figura 1.** Mapa geológico e localização da área de estudo (adaptado de Gallembeck, 1997).

Estes dois principais grupos, em sua porção saturada em água, correspondem aos Sistemas Aquíferos Tubarão e Cristalino. O primeiro caracteriza-se pelo fluxo de água através de interstícios de sedimentos clásticos e, no outro, o fluxo se dá por discontinuidades como falhas, juntas e fraturas. O Manto de Intemperismo originado da alteração, dadas suas características próprias de circulação e armazenamento de água constituindo um aquífero de porosidade granular de rochas, é considerado como um sub-sistema destes aquíferos,.

Foram selecionadas áreas-piloto para estudos em detalhe, onde há presença de distritos industriais; estas áreas correspondem a micro-bacias hidrográficas que permitirá melhor controle da inter-relação entre as águas superficiais e de subsuperfície.

### 3 – MATERIAIS E MÉTODOS

A partir de levantamento de dados de poços em Cadastros do Departamento de Águas Energia - DAEE, do Instituto Geológico - IG/SMA e empresas perfuradoras, foram catalogados 132 poços tubulares em Salto e 76 poços na porção sul de Indaiatuba, situados entre as coordenadas UTM

7.446.000 mN/280.000 mE e 7.428.000 mN/256.000 mE (Datum Horizontal: Córrego Alegre 23 K).

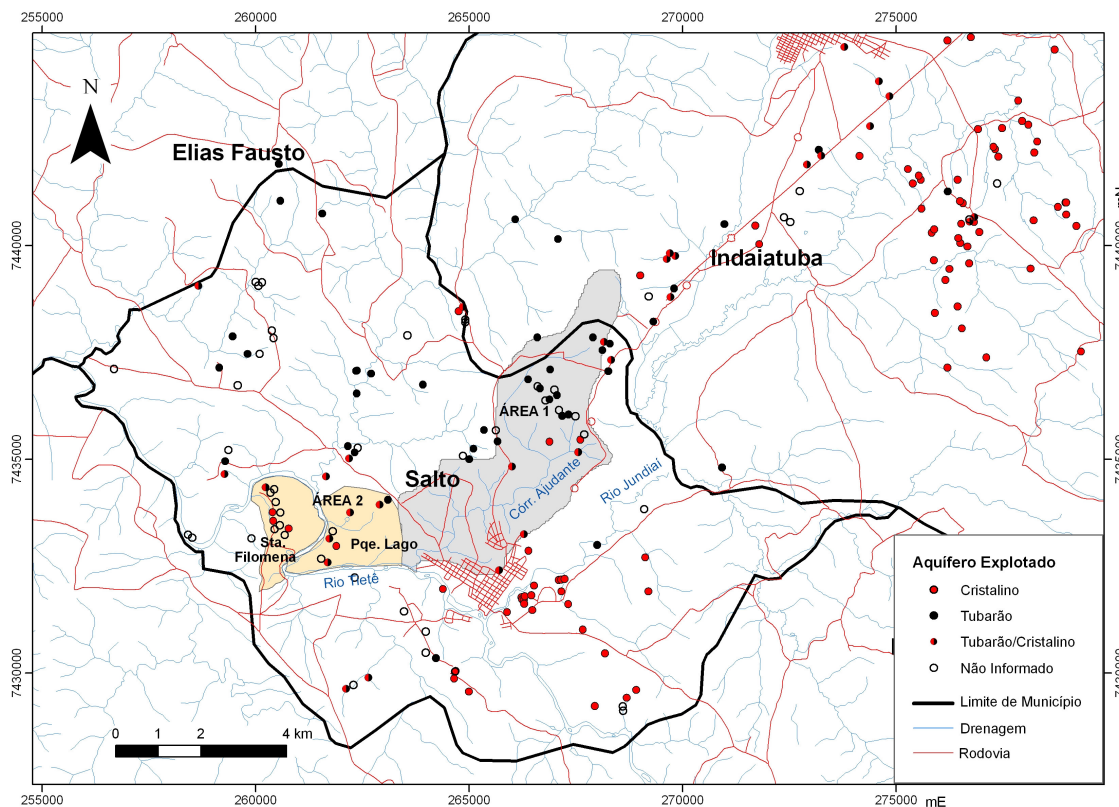
Deste total de poços, 41% exploram água do Aquífero Cristalino, 21% do Tubarão e 14% dos poços são mistos (Tabela 1). Considerou-se misto o poço que recebe a contribuição em água de pelo menos dois aquíferos; cuja espessura deve corresponder, no mínimo, a 20% da espessura atravessada pelo poço.

**Tabela 1.** Total de poços catalogados na área de estudo por aquíferos explorados.

<b>Aquífero</b>	<b>Indaiatuba</b>	<b>Salto</b>	<b>Total</b>
Cristalino	51	34	85
Tubarão	7	37	44
Tubarão/Cristalino	12	18	30
Sem Informação	6	43	49
<b>Total</b>	<b>76</b>	<b>132</b>	<b>208</b>

A partir deste levantamento prévio foram selecionados poços próximos a distritos industriais ou a eles associados ou mesmo poços em locais onde se constatou ocorrência de anomalias na concentração de fluoreto ou de sólidos totais dissolvidos (STD).

Dois áreas-alvo foram delimitadas para este estudo, a Micro-bacia do Córrego do Ajudante (ÁREA 1) e outras situadas à margem do Rio Tietê (ÁREA 2) (Figura 2).



**Figura 2.** Localização dos poços tubulares na Região de Salto-Indaiatuba e áreas-piloto.

Na primeira, encontra-se instalado um Distrito Industrial e um Aterro controlado em porções não muito distantes das cabeceiras. Este córrego atravessa densa área de ocupação urbana, até desaguar no Rio Tietê. Na segunda área, há um condomínio fechado e um Distrito Industrial, separados pelo Rio Tietê.

Nestas áreas-alvo foram realizadas amostragens de águas de 13 poços tubulares (PT) e 18 poços rasos tipo cacimba (PC) para análises físico-químicas, que permitiram caracterizações preliminares das águas subterrâneas mais rasas em relação às profundas. Destes 13 poços profundos, 6 exploram água do Aquífero Cristalino, 4 do Tubarão e 3 não foram definidos.

Os poços rasos encontram-se, predominantemente, no Condomínio da Área 2 (14 poços) e o restante, na micro-bacia do Córrego Ajudante. Os poços estão situados, em sua maioria, no manto de alteração associado ao Sub-Grupo Itararé.

Os parâmetros determinados em campo foram temperatura, pH, potencial de oxidação-redução, condutividade elétrica e alcalinidade. As amostras foram filtradas com membrana de acetato 0,45 µm, devidamente preservadas (a 4°C - determinação de ânions; HNO<sub>3</sub> - determinação de cátions) e encaminhadas para o Laboratório de Hidrogeoquímica III do Centro de Pesquisas de Águas Subterrâneas – CEPAS/IGc-USP para análise de íons metálicos (Al<sup>3+</sup>, Ba<sup>2+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Cd<sup>2+</sup>, Cr<sub>total</sub>, Cu<sup>2+</sup>, Fe<sub>total</sub>, Mg<sup>2+</sup>, Mn<sup>2+</sup>, Ni<sup>2+</sup>, Sr<sup>2+</sup>, Zn<sup>2+</sup>) por Espectrofotometria de Absorção Atômica de Chama (GBC 932B Plus); Na<sup>+</sup> e K<sup>+</sup> por fotometria de chama (Micronal 262) e ânions (F<sup>-</sup>, Cl<sup>-</sup>, NO<sub>2</sub><sup>-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, Br<sup>-</sup>, HPO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>) por cromatografia líquida (Dionex-ICS 90).

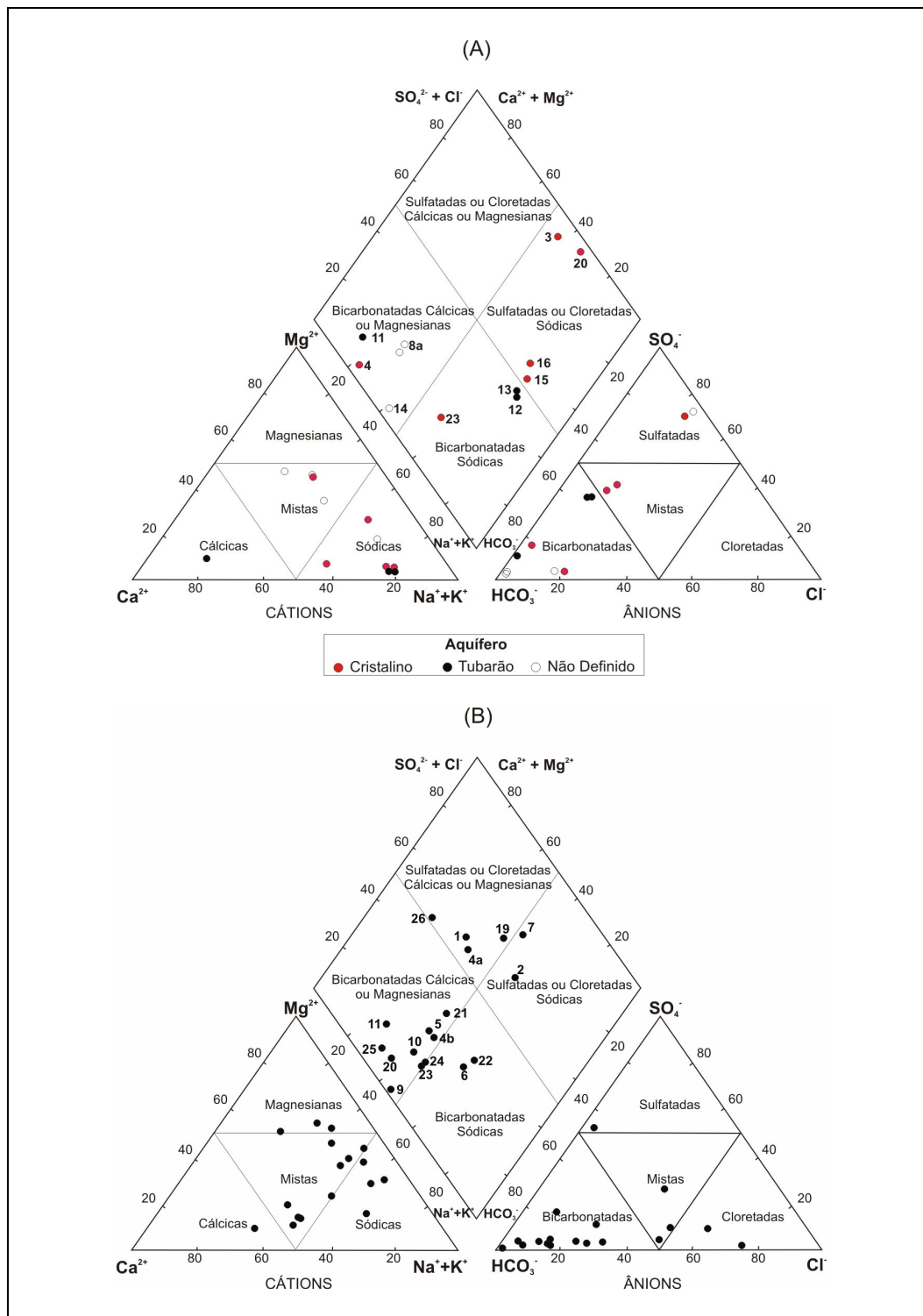
Foram também coletados dados analíticos obtidos de relatórios de poços de outras fontes para caracterização de anomalias geoquímicas de fluoreto e sólido totais dissolvidos nas águas subterrâneas de poços profundos. Para esta avaliação, foram considerados mais alguns poços de Indaiatuba, extrapolando-se a área de abrangência inicial (coordenadas UTM 7.450.000 mN/280.000 mE e 7.428.000 mN/256.000 mE - Datum Horizontal: Córrego Alegre 23 K). Foram utilizados, no total, 44 dados de concentração de fluoreto e 36 dados referentes a STD.

Para classificação hidroquímica das águas subterrâneas utilizou-se diagrama de Piper e para a espacialização dos resultados de concentração de fluoreto e de STD, utilizou-se método de interpolação (krigagem), pelo programa Surfer 8.0.

#### **4 - RESULTADOS PRELIMINARES**

As águas subterrâneas dos poços profundos classificam-se, predominantemente, como águas bicarbonatadas cálcicas ou magnesianas, bicarbonatadas sódicas, podendo ocorrer águas cloretadas ou sulfatadas sódicas (Figura 3A). Este último grupo associa-se a rochas cristalinas graníticas, onde

a salinidade média do Aquífero Cristalino apresenta-se pouco mais elevada em relação à do Aquífero Tubarão (Tabela 2).



**Figura 3.** Classificação das água subterrâneas em poços tubulares (A) e poços cacimba (B) -Diagramas de Piper.

As águas dos Aquíferos Cristalino e Tubarão, em relação ao Aquífero Freático, apresentam valores mais elevados de pH e de condutividade elétrica com médias respectivas de 7,81 e 7,68 e 558,71  $\mu\text{S}/\text{cm}$  e 301,75  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (Tabela 2), apresentando-se mais mineralizados.

**Tabela 2.** Principais características das águas subterrâneas dos Aquíferos Cristalino, Tubarão e Freático nas áreas-piloto.

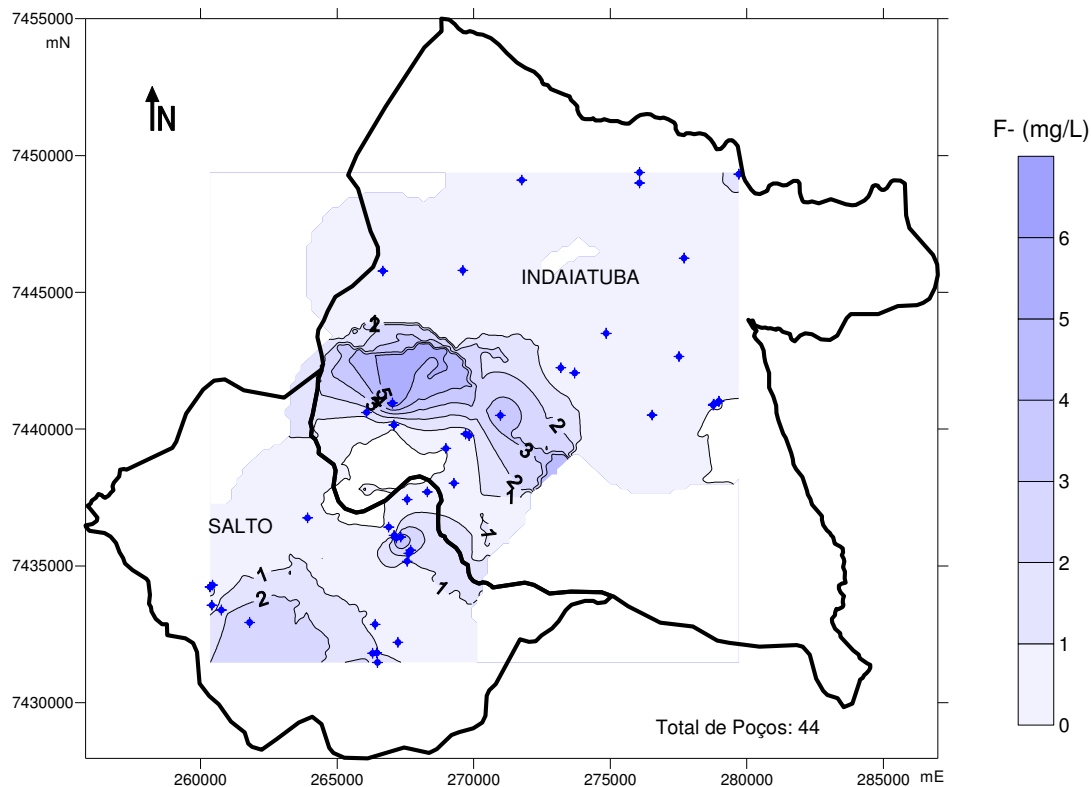
Aquífero Qtde. Poços valores	CRISTALINO				TUBARÃO				FREÁTICO		
	n=8			Referência *	n=6			Referência *	n=18		
	média	mínimo	máximo		média	mínimo	máximo		média	mínimo	máximo
Prof. (m)	135,00	111,00	150,00	-	165,00	135,00	186,00	-	18,18	8,00	30,00
pH	7,81	6,00	9,89	7,50	7,68	6,70	8,21	8,7	6,02	4,99	7,69
CE (mS/cm)	558,71	271,00	1225,00	420,00	301,75	285,00	317,00	704,00	162,63	15,00	816,00
STD	321,66	31,20	796,25	364,00	196,14	185,25	206,05	584,00	105,71	9,75	530,40
Na <sup>+</sup> mg/L	68,92	1,53	153,26	16,40	40,94	10,00	69,57	23,40	11,72	0,79	45,88
K <sup>+</sup> mg/L	0,86	0,32	2,02	-	1,66	0,27	6,00	-	3,01	0,27	7,12
Ca <sup>2+</sup> mg/L	28,42	7,82	88,12	-	35,73	10,71	112,59	-	7,98	0,18	56,74
Mg <sup>2+</sup> mg/L	8,86	1,53	18,24	-	4,03	0,75	8,82	-	7,98	0,14	59,46
Fe <sub>total</sub> mg/L	0,13	0,07	0,23	0,06	0,24	0,18	0,30	0,004	0,17	0,02	0,54
Cl <sup>-</sup> mg/L	32,29	0,64	107,50	3,40	7,35	0,62	15,80	18,1	10,32	0,31	99,15
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> mg/L	136,51	1,11	448,00	-	28,53	0,00	51,86	-	3,39	0,07	17,20
Alcalinidade Total	77,38	12,51	154,00	-	74,31	52,00	105,10	-	44,21	2,50	170,16
N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> mg/L	0,06	0,00	0,14	0,73	0,17	0,005	0,97	0,21	2,26	0,03	12,98
F <sup>-</sup>	1,92	0,13	2,71	0,74	2,04	0,29	4,08	0,97	0,10	0,00	0,37

\* Valores de Referência de Qualidade para os parâmetros indicadores por Unidade de Gerenciamento de Recurso Hídrico – UGRHI 10 (CETESB, 2004).

As águas rasas, relacionadas a mantos de alteração e solos, classificam-se, em sua maioria, como bicarbonatadas cálcicas ou magnesianas e, subordinadamente, sódicas, podendo ocorrer águas cloretadas ou sulfatadas (Figura 3B). Um caso de água cloretada é o poço situado à jusante do Aterro de Salto (PC-26), que se encontra sob influência da contaminação por efluentes deste aterro. Estas águas apresentam valores inferiores de pH, quando comparadas às águas de poços profundos, variando de 5,00 a 7,70 com valor médio 6,00, indicando influência das águas da chuva. Sua salinidade, expressa em termos de condutividade elétrica, é comparativamente menor, com média de 162,63  $\mu$ S/cm. Também apresentam baixas concentrações iônicas de Ca<sup>2+</sup>, Na<sup>2+</sup> e SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, em comparação às águas profundas (Tabela 2).

Analisando as concentrações de fluoreto das águas de 44 poços tubulares de Salto e a sul de Indaiatuba, 25% apresentaram valores acima de 1,50 mg/L, que corresponde ao limite de potabilidade estabelecido pelo Ministério da Saúde (Portaria N° 518, de 25/03/2004). Nestes casos, a água não é utilizada para consumo humano, contudo, principalmente, para fins sanitários ou em processos industriais.

A Figura 4 apresenta isovalores de concentração de fluoreto. A profundidade média destes poços 44 poços é de 152 m, variando de 54 a 300 m; e o valor médio de concentração de fluoreto é 0,98, com máximo atingido 6,00.



**Figura 4.** Isovalores de fluoretos em poços profundos de Salto e ao sul de Indaiatuba.

Foram constatados pelo menos três focos de concentrações anômalas de fluoreto: a Sul, no Condomínio Santa Filomena e Distrito Industrial Parque do Lago (ÁREA 2); na porção norte de Salto, próximo do limite com Indaiatuba, no Distrito Industrial Tranquili Gianinni (ÁREA 1), onde se encontram os poços PT-12, PT-13, PT-15 e PT-16 em indústrias e o Aterro de Salto; e, finalmente, em poços de indústria, já pertencente a Indaiatuba.

Os resultados das análises físico-químicas das águas dos poços demonstram correlação entre as concentrações de fluoreto e elevados valores de pH, associados a águas bicarbonatadas sódicas ou sulfatadas sódicas.

A fonte de fluoreto pode estar associada a fluidos de percolação hidrotermal ou hidrólise de anfibólios ou biotitas de rochas graníticas. A presença de minerais máficos ricos em flúor m rochas graníticas nesta área foi caracterizada por Gallembeck (1997).

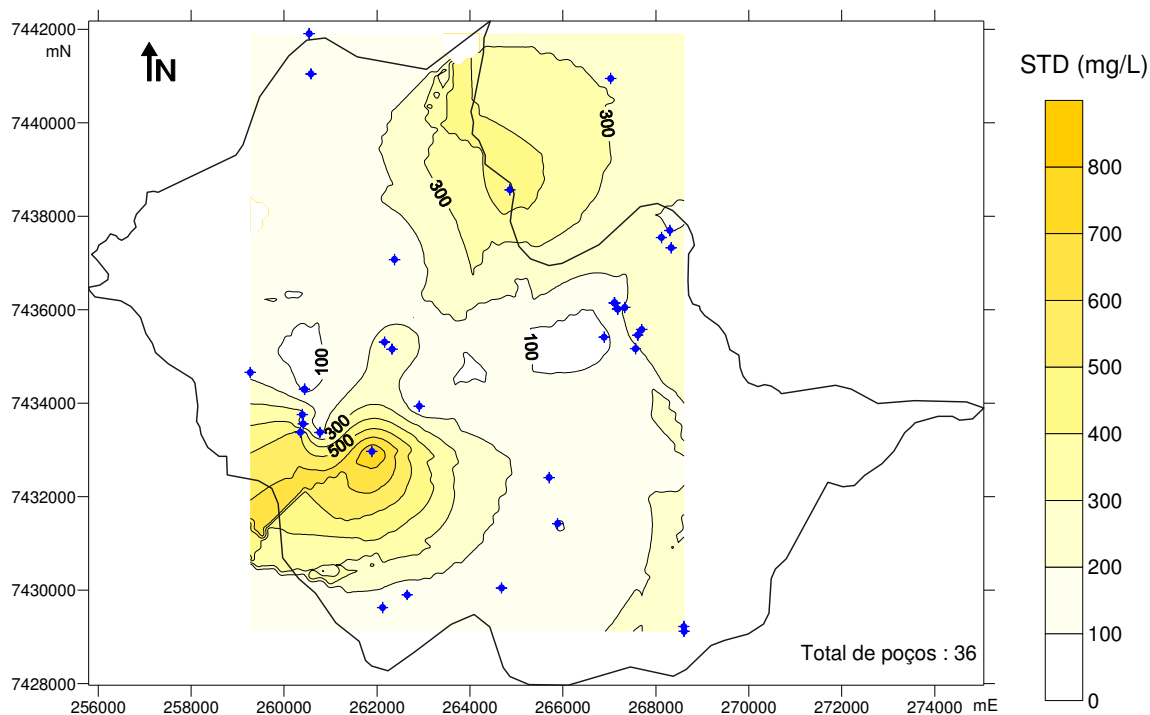
A Figura 5 apresenta curvas de isovalores de concentração de STD nas águas subterrâneas a partir de dados de 36 poços tubulares em Salto. Os valores médios de STD das águas dos Aquíferos Cristalino, Tubarão, e mistura Tubarão/Cristalino foram, respectivamente, 288 mg/L (variando de 71 a 796 mg/L), 266 mg/L (faixa de 132 a 288 mg/L), e 207 mg/L (faixa de 119 a 452 mg/L),

Focos de maior concentração situam-se no Condomínio Santa Filomena e no Distrito Industrial Parque do Lago (ÁREA 2), que estão próximos ao Rio Tietê, área principal de descarga.



Conforme discutido anteriormente, águas desta área-alvo também apresentaram anomalias geoquímicas de fluoreto.

Na Área 2, os elevados teores de STD também estão associados a valores de dureza na água que implicaram na desativação de alguns poços em indústrias, em função de problemas de incrustação em tubulações ou devido interferência nos processos de produção. No condomínio residencial, alguns proprietários preferiram substituir a captação em poços tubulares por poços cacimbas.



**Figura 5.** Isovalores de STD em poços profundos de Salto e sul de Indaiatuba.

Considerando a profundidade dos poços tubulares e a composição química de águas do Aquífero Cristalino, constatou-se até a profundidade de 170 m, o predomínio de água bicarbonatadas sódicas-cálcicas-magnesianas ( $\text{Na-Ca-Mg-HCO}_3$ ,  $\text{Na-Mg-Ca-HCO}_3$ ) e cálcicas-magnesianas ( $\text{Ca-Mg-Na-HCO}_3$ ); secundariamente sulfatadas sódicas ( $\text{Na-Ca-SO}_4\text{-HCO}_3$ ), com base nos dados até agora levantados. Em profundidades maiores (180 a 300 m), as águas apresentam teores mais elevados de sódio, podendo ser bicarbonatadas ou sulfatadas ( $\text{Na-HCO}_3$ ,  $\text{Na-HCO}_3\text{-SO}_4$ ,  $\text{Na-Ca-SO}_4\text{-HCO}_3$ ,  $\text{Na-Ca-SO}_4$ ), e teores significativos de cloretos ( $\text{Na-Ca-SO}_4\text{-Cl}$ ).

Este zoneamento hidroquímico assemelha-se ao modelo de evolução química de águas em rochas ígneas plutônicas apresentado por Gascoyne & Kaminemi (1994). Neste modelo, as águas tipo  $\text{Ca-Na-HCO}_3$ , próximas à superfície, tornam-se sódicas ( $\text{Na-Ca-HCO}_3\text{-Cl}$ ) entre 150-500 m de profundidade e mais salinas ( $\text{Na-Ca-Cl}$ ;  $\text{Ca-Cl}$ ) a profundidade superiores a 500m.

A presença e predomínio de sódio e seu aumento com a profundidade nas águas subterrâneas de Salto, podem estar associados à hidrólise de plagioclásio e feldspatos. Baixas concentrações de  $\text{Ca}^{2+}$  na água deve-se à precipitação e/ou troca iônica (com  $\text{Na}^+$ ) em argilominerais presentes em fraturas Gascoyne e Kaminemi (1993 *apud* Singhal e Gupta, 1999).

Pelos valores de concentrações de  $\text{Na}^+$  e  $\text{Cl}^-$  das águas de poços das áreas-piloto, determinou-se a relação  $\text{Na}/(\text{Na}+\text{Cl})$ , cujo valor médio é 0,83 (variando de 0,59 a 0,97). O predomínio de íons sódio em relação a íons cloreto indica que a origem das águas do Aquífero Cristalino não está relacionada a águas salinas de mar, e sim ao intemperismo de rocha granítica.

A presença de sulfatos ( $\text{Na-SO}_4$ ,  $\text{Na-SO}_4\text{-Cl}$ ) em amostras de água do Cristalino pode estar associada à lixiviação de sulfetos de fluidos hidrotermais residuais, não se descartando a hipótese de influência de salmouras ou águas marinhas antigas que migraram de rochas sedimentares.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A caracterização hidroquímica preliminar das águas subterrâneas em porções dos Municípios de Salto e Indaiatuba mostrou a presença de anomalias nas concentrações de fluoreto e STD associadas a poços tubulares profundos. Estas anomalias geoquímicas constituem restrições ao uso da água, numa região com problemas de escassez de água.

Este trabalho está sendo desenvolvido com envolvimento de estudo da interação e evolução geoquímicas de água-solo-rocha, correlacionadas às estruturas geológicas e ao uso e ocupação do solo nesta região. Os resultados permitirão uma definição mais segura de áreas potenciais ou de restrição para exploração das águas subterrâneas. Desta forma, deve-se salientar a importância destes estudos como contribuição para o gerenciamento dos recursos hídricos.

## 6 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Artur, A. C. 2003. *Complexo Granitóide Plurisserial Socorro: geologia, petrologia e recursos minerais*. Tese de Livre-Docência. Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Campus de Rio Claro, 139 p., anexos.
- CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental .2004. Relatório de Qualidade as Águas Subterrâneas do Estado de São Paulo. [www.cetesb.sp.gov.br](http://www.cetesb.sp.gov.br).
- Departamento de Águas Energia Elétrica – DAEE / Universidade Estadual Paulista -UNESP.1980 *Mapeamento faciológico do Subgrupo Tubarão*. Convênio DAEE-UNESP, Escala 1:50.000.
- Ebert, H. 1968. Ocorrências da fácies granulítica no sul de Minas Gerais e em áreas adjacentes, em dependência da estrutura orogênica: hipóteses sobre sua origem. *Anais da Academia Brasileira*

*de Ciências*, 40 (Suplemento):215-229.

- Ebert, H. 1971. Os Paraibides entre São João Del Rei, Minas Gerais e Itapira, São Paulo e a bifurcação entre Paraibides e Araxaídes. *In: Congresso Brasileiro de Geologia*, 25, São Paulo, 1971. *Boletim de Resumos das Comunicações*. SBG, São Paulo, p. 177-178.
- Gallemebeck, T. M. B. 1997. *O Complexo Múltiplo, centrado e pluriserial Itu – SP*. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, 1v., 2 mapas, 374 p.
- Gascoyne, M. & Kaminemi, D.C. 1994. The hydrogeochemistry of fractured plutonic rocks in the Canadian Shield. *Hydrogeology Journal*, v.2, N° 2, 43-49.
- Janasi, V. de A.; Vasconcelos, A. C. B. C.; Vlach, S. R. F.; Motidome, M. J. 1990. Granitóides da região entre as cidades de São Paulo e Piedade (SP): faciologia e contexto tectônico. *In: Congresso Brasileiro de Geologia*, 36, Natal, 1990. *Anais...*, Natal, SBG, v.4, p. 1925-1935.
- Neves, M. A. 2005. *Análise integrada aplicada à exploração de água subterrânea na bacia do rio Jundiá (SP)*. Tese de Doutorado. Instituto de Geociências e Ciências Exatas da Universidade Estadual Paulista, Campus de Rio Claro, 200p.
- Salveti, R. A. P. 2005. *Sistemas Depositionais e Paleogeografia do Subgrupo Itararé (Neopaleozóico da Bacia do Paraná), na Região entre Itu e Indaiatuba, SP*. Mestrado (Dissertação). São Paulo. Instituto de Geociências – USP. 100 p.
- Singhal, B.B.S.; Gupta, R.P. 1999. *Applied Hydrogeology of Fractured Rocks*. Dordrecht, Kluwer Academic Publishers, 400p..

## **AGRADECIMENTOS**

Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (Processo N° 06/51699-0), ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico Tecnológico (Processo N° 306270/2006-4) e ao Sr. Francisco Antonio Moschini.