

# CONTAMINAÇÃO DO AQUÍFERO TAUBATÉ POR UMA LAGOA DE EFLUENTES INDUSTRIAIS CONTENDO BORO

Tatiana Tavares<sup>(1)</sup>; Ricardo Hirata<sup>(2)</sup>; Reginaldo Bertolo<sup>(3)</sup>

## Resumo

O impacto das águas subterrâneas rasas do Aquífero Taubaté causado por uma lagoa receptora de efluentes industriais localizada no Município de Taubaté (SP) foi investigado através de um estudo hidrogeoquímico realizado em campanhas semestrais de amostragem. Através dos resultados foi possível identificar três ambientes hidrogeoquímicos distintos no aquífero: bicarbonatadas sódicas, cloretadas sódicas e mistas sódicas, com teores variáveis de sulfato. A presença de  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  e B no aquífero é decorrente dos lançamentos de efluente na lagoa e à influência desta em relação ao aquífero. Quanto à contaminação por boro, pôde-se perceber que os efluentes industriais com relativas concentrações de boro mesmo pós-tratamento, impactaram a água da lagoa (0,16mg/L), o sedimento de fundo (112mg/kg) e o aquífero em seu entorno (solo subjacente - 49,8mg/kg e água subterrânea - 1,66mg/L), cuja pluma foi delimitada com comprimento longitudinal de 120m e profundidade de até 10m. As maiores concentrações de boro observadas no sedimento de fundo do lago indicam uma barreira geoquímica associada diretamente ao pH alcalino da água do lago que favorece a dissociação do ácido bórico ( $\text{H}_3\text{BO}_3$ ) em ânion borato ( $\text{B}(\text{OH})_4^-$ ), cujo comportamento de adsorção é praticamente irreversível, atenuando expressivamente a contaminação de boro no aquífero.

## Abstract

Groundwater impacts caused by an industrial effluent lagoon into a shallow, unconfined sandy clay aquifer (Taubaté Aquifer) in Taubaté (São Paulo, Brazil) were investigated. Three different hydrochemical environments were found: sodium bicarbonate, sodium chloride and sodium mixed waters. The occurrence of  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$

---

*Departamento de Geologia Sedimentar e Ambiental, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.*

*Endereço: Rua do Lago, 562, Cidade Universitária, CEP 05508-090, São Paulo (SP), Brasil.*

*E-mail: (1) [tatianatavares@usp.br](mailto:tatianatavares@usp.br); (2) [hirata@usp.br](mailto:hirata@usp.br); (3) [bertolo@igc.usp.br](mailto:bertolo@igc.usp.br)*

*Tel: (1) (5511) 3091-4804; (2) (5511) 3091-4230; (3) (5511) 3091-4243*

and B in the aquifer is related to the chemical characteristics of the effluent discharged into the lagoon. The effluent discharge with B impacted the lagoon water (0,16 mg/L), its sediments (112 mg/kg) and the shallow aquifer surrounding the lagoon (soil below the lagoon - 49,8 mg/kg and groundwater - 1,66 mg/L). The boron plume was characterized with a maximum length of 120m and a depth of 10m. The highest boron concentrations observed in the lagoon sediment indicated that it works as a geochemical barrier controlled by the pH of the lagoon water, which causes the dissociation of boric acid ( $H_3BO_3$ ) into borate anion ( $B(OH)_4^-$ ). The adsorption mechanism of this anion in the sediment is practically irreversible, suggesting that the lagoon sediments provide an attenuation for the aquifer contamination.

**Palavras-chave:** Água subterrânea, Aquífero Taubaté, Boro, Contaminação, Lagoa.

## 1 – INTRODUÇÃO

O boro ocorre normalmente em baixas concentrações nas águas naturais destinadas, variando amplamente nas águas superficiais e subterrâneas. Embora apresente importância à saúde e ao ambiente, estudos detalhados sobre suas concentrações e seu comportamento em aquíferos ainda são restritos no Brasil. Este trabalho tem como objetivos, estudar e avaliar o impacto causado por uma lagoa receptora de efluentes industriais tratados no Aquífero Taubaté, em uma planta localizada no Município de Taubaté (SP).

## 2 – METODOLOGIA

Visando o reconhecimento da geologia local e coleta de amostras de solo e água subterrânea para análise química no perímetro marginal da lagoa, foram executadas 34 sondagens, 13 poços de monitoramento rasos (PM- 3,5m a 9,0m) e 02 profundos (PM10P - 10m e PM-01P - 15m), bem como em seu interior através de 05 piezômetros (PZ- 1,8 a 5,6m), amostragem de sedimento de fundo e solo subjacente ao sedimento de fundo em cinco pontos distintos (N, NE, E, W e SE) e do solo do aquífero em três pontos externos ao lago (S-45, S-46 e S-47) (Figura 1).

As amostragens das porções sólidas foram realizadas em duas campanhas ao longo de um ano hidrológico (MAR e OUT/05), sendo utilizadas para a quantificação do boro

através de ICP-AES, análise granulométrica por peneiramento e pipetagem, difração de raio X (DRX).

As amostragens de água subterrânea e superficial foram executadas com bailer descartável ao longo de três campanhas (JUL/04, MAR e OUT/05) em uma média de 26 pontos para análise de boro,  $Al^{total}$ ,  $Fe^{total}$  e cátions ( $Ca^{2+}$ ,  $K^+$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $Mn^{2+}$ ,  $Na^+$ ) analisados com ICP-AES,  $Fe^{2+}$  (*Phenanthroline Method*) e ânions ( $Cl^-$ ,  $SO_4^{2-}$ ,  $F^-$ ,  $Br^-$ ,  $HPO_4^{2-}$ ,  $NO_2^-$  e  $NO_3^-$ ) quantificados por cromatografia iônica. Todas as amostras para cátions e metais foram filtradas em filtros de 0,45 $\mu$ m e preservadas com  $HNO_3$ . Os parâmetros físico-químicos pH, Eh, condutividade elétrica, temperatura e sólidos totais dissolvidos (STD) foram analisados em campo através de medidores portáteis, e a alcalinidade ( $HCO_3^-$ ) através de titulação.

Para fins de controle de interferências durante a amostragem e em laboratório, coletou-se em cada campanha uma amostra de referência ou branco de equipamento e amostras duplicatas dos pontos com maior potencial de impacto. Visando aumentar a confiabilidade dos resultados, realizou-se o cálculo do balanço iônico para todas as amostras, assegurando um erro dentro do limite permitido ( $\pm 10\%$ ), antes do tratamento estatístico dos dados químicos.

### 3 – RESULTADOS OBTIDOS

O aquífero estudado está associado aos sedimentos fluviais do Grupo Taubaté, constituído localmente por sedimentos argilo-arenosos com intercalações centimétricas a decimétricas de areia média a grossa (Figura 2), cujas condutividades hidráulicas no entorno da lagoa variam entre  $8,1 \times 10^{-6} m/s$  a  $1,7 \times 10^{-7} m/s$  [1]. Caracteristicamente do tipo livre e heterogêneo, apresenta espessura média de até 20m, profundidade a partir da qual ocorre um argilito cinza pertencente à intercalação de folhelhos e arenitos terciários. A textura do sedimento da lagoa foi caracterizada como areno-siltosa.

Topograficamente, a área onde a lagoa está inserida compõe-se por um platô nivelado entre 573 e 569manm. As zonas de descarga locais constituem-se por dois córregos, um situado a leste do platô, parcialmente canalizado em cotas de 558 a 546manm e outro a oeste, correndo em cotas de 552 a 542manm.

O contexto hidrogeológico da área fabril é caracterizado pela influência do lago em relação ao aquífero (Figuras 1 e 2), sendo que a maior contribuição em sua recarga ocorre na época de estiagem, quando os maiores gradientes hidráulicos e velocidades de fluxo (máxima de 320m/ano e média de 27m/ano) são observados no entorno próximo à

lagoa, enquanto no verão predomina a recarga pela precipitação nas áreas não impermeabilizadas.

O descarte dos efluentes inadequadamente tratados inseriu uma carga significativa de boro, sódio e cloreto na lagoa, constituindo-se fonte primária de contaminação pontual do aquífero. O boro foi detectado no aquífero com concentrações acima do limite de intervenção (0,50mg/L [2]), máxima igual a 1,66mg/L, média de 0,27mg/L e mínima de 0,05mg/L, enquanto as concentrações anômalas de sódio (máxima de 115,00mg/L) e cloreto (máxima de 70,53mg/L), encontram-se abaixo do limite de potabilidade [3].

As maiores concentrações de boro no aquífero localizam-se no entorno próximo ao lago, diminuindo no sentido do fluxo subterrâneo devido ao mecanismo de adsorção e à diluição, até atingir a concentração de *background* na área (<0,05mg/L), a 120m do lago. Concentrações entre 0,8 e 0,2mg/L de boro já alcançaram a profundidade de 10m no entorno próximo à lagoa.

Quanto à caracterização hidrogeoquímica das águas, foi possível delinear variações composicionais espacialmente a partir da lagoa (Figura 3) com composição bicarbonatada sódica expandindo-se pelo aquífero ao longo do fluxo passando à mista sódica a aproximadamente 20m e à cloretada sódica entre 45m e 90m, distância coincidente com o fechamento da pluma de boro.

Entre os meios sólidos que contém o boro, as maiores concentrações encontram-se no sedimento de fundo da lagoa (máxima de 320,00mg/kg) e em menor proporção no solo subjacente ao aquífero (máxima de 49,80mg/kg), sendo suas concentrações em volume muito superiores àquelas observadas nas águas. Tais fatos estão relacionados com a alcalinidade observada na água da lagoa e o próprio mecanismo de adsorção do boro no solo, tanto maior quanto mais alcalino o pH (Figura 2). Os principais sítios de adsorção do boro no sedimento são os hidróxidos de alumínio (gibbsita) e a caulinita.

#### **4 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

[1] TAVARES, T. (2006) *O impacto de uma lagoa receptora de efluentes industriais contendo boro em um aquífero raso*. Tese de Mestrado. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 120 p.

[2] COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL (2005) *Valores orientadores para solos e águas subterrâneas do Estado de São Paulo*. In: DIÁRIO OFICIAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (2005) São Paulo, DO/IO, v. 115, n. 225, p. 48. (Poder Executivo, Seção I).

[3] MINISTÉRIO DA SAÚDE (2004) *Norma de qualidade da água para consumo humano*. In: Diário Oficial da União. Brasília, DO/IN. Ano CXXI, n. 59, p. 266-270.

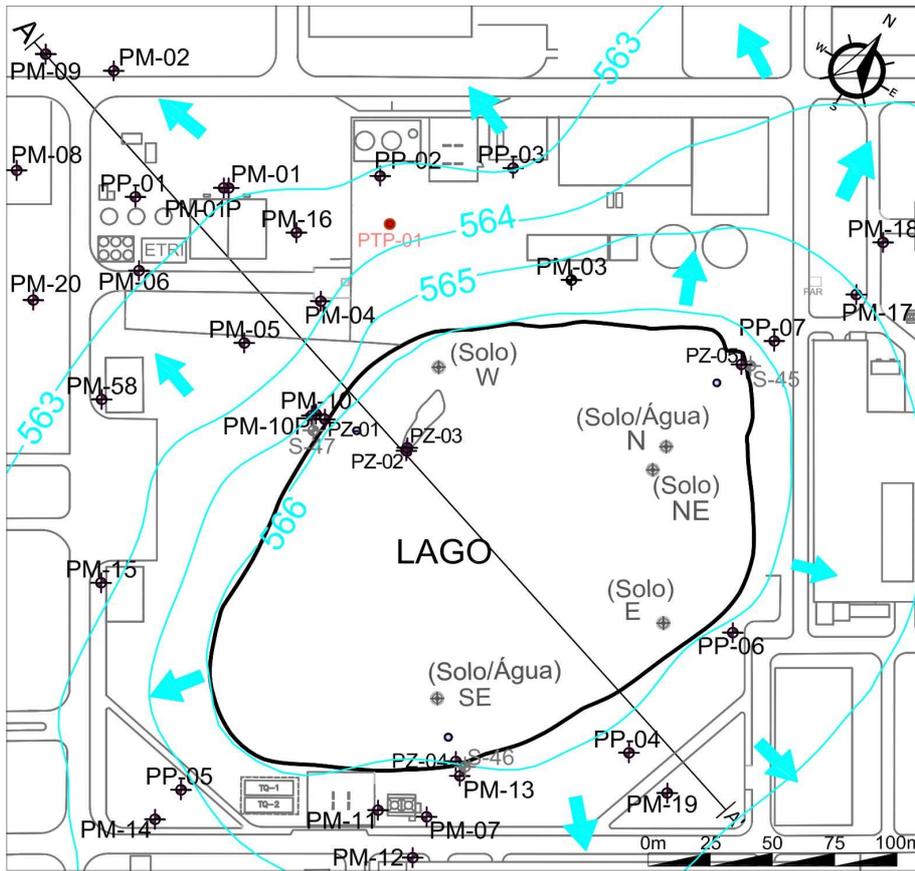


Figura 1 - Localização dos poços de monitoramento.

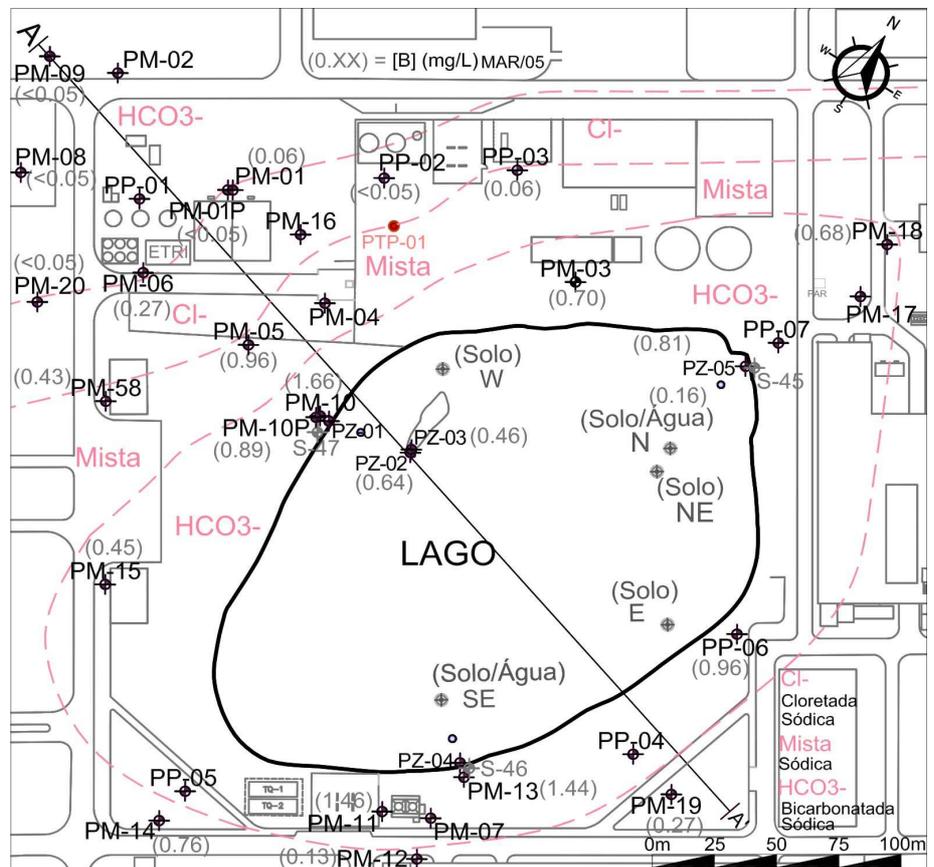


Figura 3 – Zonas Hidrogeoquímicas.

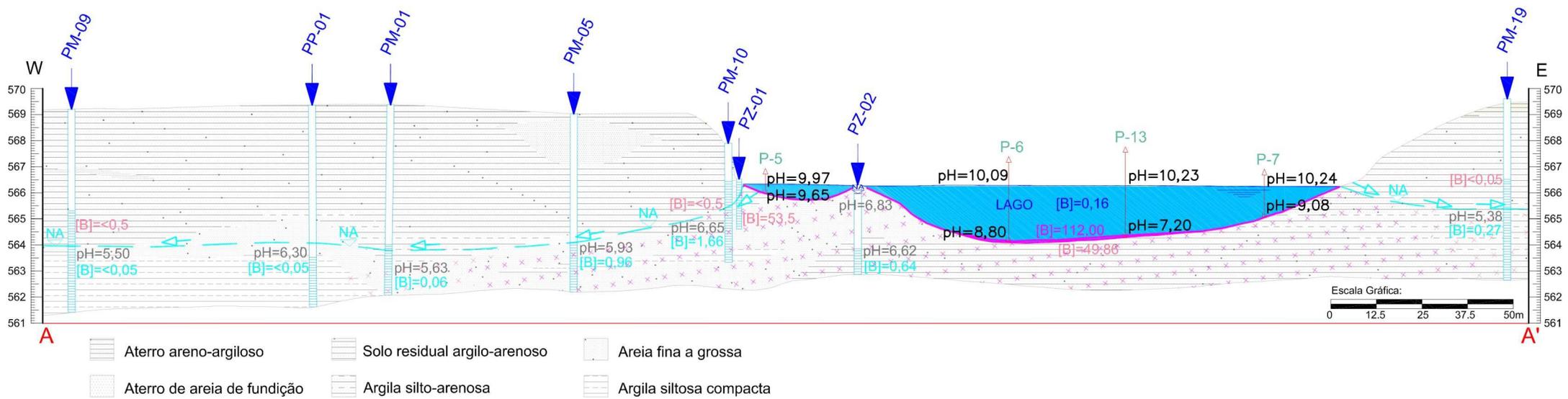


Figura 2 – Seção Hidrogeológica e Hidrogeoquímica – Modelo Conceitual.