

CARACTERIZAÇÃO HIDROQUÍMICA E BACTERIOLÓGICA EM AQUÍFERO FREÁTICO NO MUNICÍPIO DE TAUBATÉ-SP

Hélio Nóbile Diniz¹; Nelson Wellausen Dias²; Stéphanie Birrer¹; Gabriel da Silva Casaroli¹; Ana Paula Costa²

RESUMO

Este trabalho compara a qualidade físico-química e bacteriológica das águas subterrâneas do aquífero freático situado em um latossolo vermelho-amarelo na bacia do rio Una, município de Taubaté, com as do aquífero confinado subjacente localizado em sedimentos terciários do Grupo Taubaté, como resultado de pesquisas em políticas públicas a fim de subsidiar o uso sustentável dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos no Departamento de Ciências Agrárias da Universidade de Taubaté. As principais atividades realizadas para caracterização físico-química e bacteriológica foram a construção e amostragem da água subterrânea em 6 piezômetros, e em 2 poços tubulares profundos. No trabalho foram obtidos o perfil do solo (aquífero freático) e dos sedimentos terciários (aquífero confinado). Foram analisados os parâmetros da qualidade da água dos piezômetros e dos poços tubulares profundos. A evolução da qualidade de água dos piezômetros foi comparada com os dados pluviométricos e de uma análise físico-química e bacteriológica da água das chuvas. Os resultados mostraram diferenças significativas entre as águas das chuvas, do aquífero freático e do aquífero confinado. A existência de coliformes fecais mostra que há infiltração de águas de fossas sépticas no aquífero freático.

ABSTRACT

This paper describes a comparison between physical-chemical and bacteriological groundwater quality of the phreatic aquifer located in a red-yellow Oxisol, in the basin of the Una river in the Municipality of Taubaté, and the underlying confined aquifer located in the Tertiary sediments of the Taubaté Group, as a result of research in public policy to support the sustainable use of surface and groundwater resources in the Department of Agrarian Sciences of the University of Taubaté. The main physical-chemical and bacteriological sampling activities were the construction of six piezometers and two deep wells. Soil profile and Tertiary sediment geology description were obtained. Water quality of the phreatic and confined aquifer were analyzed. The evolution of water quality from the piezometers was compared with the analysis of rainfall water and deep well groundwater. The results showed significant differences between rainwater and waters from the phreatic aquifer and confined aquifer groundwater. The presence of fecal coliform indicates possible infiltration of water from septic tanks into the water table.

Palavras – chave: aquífero freático, aquífero confinado, hidroquímica.

1 – Instituto Geológico do Estado de São Paulo

Av. Miguel Stéfano, 3.900 – Água Funda – CEP 04301-903 São Paulo – SP - Fone: (11)5073-5511 r 2072 - e-mail: heliodiniz@igeologico.sp.gov.br

2 – Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais da Universidade de Taubaté

Estr.Municipal Dr.José.Luiz Cembranelli, 5.000 – Itaim – CEP 12.081-010 Taubaté - SP - Fone: (12)3631-8004 - e-mail: nwdias@gmail.com

1 - INTRODUÇÃO

Este trabalho apresenta os resultados de estudos desenvolvidos em uma área localizada na bacia hidrográfica do rio Una, afluente da margem direita do rio Paraíba do Sul, no município de Taubaté. O objetivo deste estudo é descrever os parâmetros físico-químicos e bacteriológicos das águas do aquífero freático e compará-los com os das águas do aquífero confinado. As amostras de água do aquífero freático foram obtidas em 6 piezômetros construídos em latossolo vermelho-amarelo, conhecido como variação Una e, as amostras de água do aquífero confinado foram obtidas em 2 poços tubulares profundos perfurados em sedimentos da Formação Tremembé, do Grupo Taubaté, de idade Terciária.

A área investigada situa-se no bairro Itaim, no Departamento de Ciências Agrárias da Universidade de Taubaté, município de Taubaté.

Na região há uma elevada quantidade de precipitação hídrica, de modo que, em quase todos os meses do ano, excetuando o mês de agosto, há excedente hídrico. A média multianual de excedente hídrico, obtida no período 1993-2002, já descontando a água dos processos de evapotranspiração, situa-se em torno de 410,4 mm (SANTORO et al., 2007 [1]; DINIZ et al., 2007 [2]; DINIZ et al., 2008 [3]).

Devido às características físicas dos solos sobrepostos aos sedimentos terciários do Grupo Taubaté, geralmente formados por latossolos vermelho-amarelos, profundos, muito porosos e permeáveis, existe uma tendência à percolação das águas infiltradas provenientes do excedente hídrico. O escoamento superficial fica restrito às áreas impermeabilizadas pela ação antrópica, ou então, nas áreas onde ocorrem solos hidromórficos, constituídos por argilas orgânicas, como em alguns locais da várzea do rio Paraíba do Sul. Assim sendo, em Taubaté, os aquíferos recebem grande quantidade de recarga, todos os anos.

1.1 - Contexto geológico regional

O Departamento de Ciências Agrárias da UNITAU situa-se na parte sudeste do município de Taubaté, entre as confluências do rio Una e um afluente, o ribeirão Itaim. O rio Una é um dos principais afluentes da margem direita do rio Paraíba do Sul, no Estado de São Paulo.

Ocorre, na área do Departamento de Ciências Agrárias da UNITAU, relevo colinoso desenvolvido sobre os sedimentos terciários da bacia sedimentar de Taubaté.

Os solos são constituídos por espessos latossolos vermelho-amarelos (LVA40), em relevo suavemente ondulado (OLIVEIRA et al., 1999 [4]).

Sotoposto ao latossolo ocorrem sedimentos terciários da Bacia de Taubaté pertence ao “Rift Continental do Sudeste do Brasil”, de RICCOMINI (1989 [5]). As espessuras da bacia sedimentar de Taubaté (HASUI et al., 1978 [6]; MELO et al., 1986 [7]) no local, situam-se em torno de 180 m.

Abaixo desta profundidade ocorrem rochas cristalinas do Complexo Embu, de idade Pré-Cambriana, constituído principalmente por granitos, xistos e gnaisses.

RICCOMINI (1989 [5]), baseando-se em mapeamento geológico e análise de imagens de sensoriamento remoto, admite que a Bacia de Taubaté teria sua compartimentação regida por uma série de falhamentos com direções NE-SW, NW-SE e N-S. MARQUES (1990[8]), estudou a compartimentação tectônica e reconheceu seis depocentros individuais ao longo da linha central da Bacia de Taubaté. As sub-bacias separam-se por altos estruturais transversais associados a falhamentos normais de direção NW-SE. A sedimentação ocorreu de maneira sin-tectônica (SOUZA, 2004 [9]), relacionada com sistemas deposicionais flúvio-lacustres.

HASUI e PONÇANO (1978 [10]) elaboraram uma coluna estratigráfica para esta bacia reunindo no Grupo Taubaté, a Formação Tremembé e a Formação Caçapava, sendo esta designação também proposta por CARNEIRO *et al.* (1976 [11]) para os depósitos de canais e planícies de rios anastomosados na região de São José dos Campos e Caçapava.

FRANCO FILHO & SOUZA (1994 [12]), ao analisarem a exploração de água subterrânea em São José dos Campos, reconhecem na Bacia Sedimentar de Taubaté duas unidades, a Formação Tremembé, na base, constituída por folhelhos com níveis pirobetuminosos e argilitos de cores verde acinzentadas, com intercalações centimétricas à decimétricas de arenitos, siltitos e brechas intraformacionais, originados em ambiente lacustrino, semi-árido e, na parte superior descrevem a Formação Caçapava, que é constituída por sedimentos arenosos e siltosos, com intercalações pelíticas, nas cores cinza, amarelo e vermelho, originados em ambiente fluvial, de rios anastomosados.

Segundo DAEE (1977a [13]), a maior parte dos aquíferos desta região está sob condições livres e pouco confinadas, enquanto em algumas áreas limitadas está sob pressão, formando raros aquíferos confinados.

A bacia hidrográfica do rio Una está inserida, em parte sobre terrenos Pré-Cambrianos do Complexo Embu e, em parte sobre depósitos da Bacia Sedimentar de Taubaté. No local do Departamento de Ciências Agrárias da UNITAU ocorrem solos lateríticos desenvolvidos sobre os sedimentos terciários do Grupo Taubaté, até uma profundidade de 16 m (DINIZ *et al.*, 2007a [14]).

1.2 - Pedologia

Os solos do município de Taubaté, seguindo as normas vigentes no Sistema Brasileiro de Classificação de Solo (OLIVEIRA *et al.*, 1999 [4]), são classificados considerando os três principais domínios estratigráficos que ocorrem na região: as rochas cristalinas (Complexo Embu), os sedimentos terciários e os sedimentos quaternários do Grupo Taubaté.

A bacia hidrográfica do rio Una situa-se na região sul-sudeste do município de Taubaté. Nesta região, nas áreas de afloramento das rochas do Complexo Embu, o solo é classificado como argissolo vermelho-amarelo, podzólico, intercalado por argissolos vermelhos eutróficos, ambos com textura média argilosa, em relevo forte ondulado e montanhoso (início da Serra do Mar).

Nas áreas de ocorrência dos sedimentos terciários do Grupo Taubaté (Formação Tremembé) ocorrem os latossolos vermelho-amarelos, parte com variação Una, por vezes com intercalações de argissolos vermelho-amarelos, latossólicos, ambos com textura argilosa, em relevo suave, ondulado e plano (OLIVEIRA *et al.*, 1999 [4]).

Nas áreas de ocorrência dos sedimentos quaternários, ao longo dos meandros do rio Paraíba do Sul, os solos são classificados como gleissolos melânicos, com textura argilosa, e neossolos flúvicos, com textura média, intercalados por organossolos, distróficos, sendo todos em relevo plano, de várzea. Segundo VERDADE e HUNGRIA (1966 [15]) os solos hidromórficos orgânicos, no vale do rio Paraíba do Sul, são encontrados na planície aluvial do rio e nas depressões junto aos córregos afluentes ou na parte inicial dos pequenos cursos d'água.

1.3 - Hidrogeologia regional

Regionalmente, no vale do rio Paraíba do Sul, são descritos dois sistemas aquíferos: o dos depósitos sedimentares cenozóicos (Formação Caçapava, Formação Tremembé, e sedimentos quaternários), e o das rochas cristalinas (Complexo Embu). Os terrenos sedimentares cenozóicos formam o principal e melhor aquífero da região. Suas características não são uniformes e variam segundo a litologia das formações sedimentares.

As rochas cristalinas ígneas e metamórficas Pré-Cambrianas não formam um aquífero regional contínuo, mas apresentam localmente condições aquíferas através das falhas, fraturas e outras discontinuidades que permitem a circulação das águas subterrâneas e que possibilitam a sua exploração por meio de poços tubulares profundos.

Sobre estes dois sistemas aquíferos principais ocorre o aquífero freático, restrito ao solo desenvolvido sobre os sedimentos ou rocha cristalina.

O sentido dos fluxos subterrâneos é efluente, isto é, do aquífero freático para os rios e córregos (DAEE, 1977a [13]; DAEE, 1977b [16]).

2 - OBJETIVOS

Analisar a qualidade físico-química e bacteriológica das águas subterrâneas do aquífero freático em um latossolo vermelho-amarelo desenvolvido sobre sedimentos terciários da Bacia de Taubaté e comparar os resultados com os das águas provenientes do aquífero sedimentar confinado localizado sobre estes sedimentos.

3 - MATERIAIS E MÉTODOS

A construção de seis piezômetros na área desta pesquisa (Figura 1), com profundidades variáveis entre 4,5 e 9,5 m, possibilitaram a coleta de amostras de solo para caracterização geotécnica e, após a instalação de tubos lisos e de filtros, a medição dos níveis d'água do aquífero freático e a coleta de água para análises físico-químicas e bacteriológicas. Também, foram perfurados dois poços tubulares profundos, na mesma área, com profundidades de 91,2 e 115,0 m.

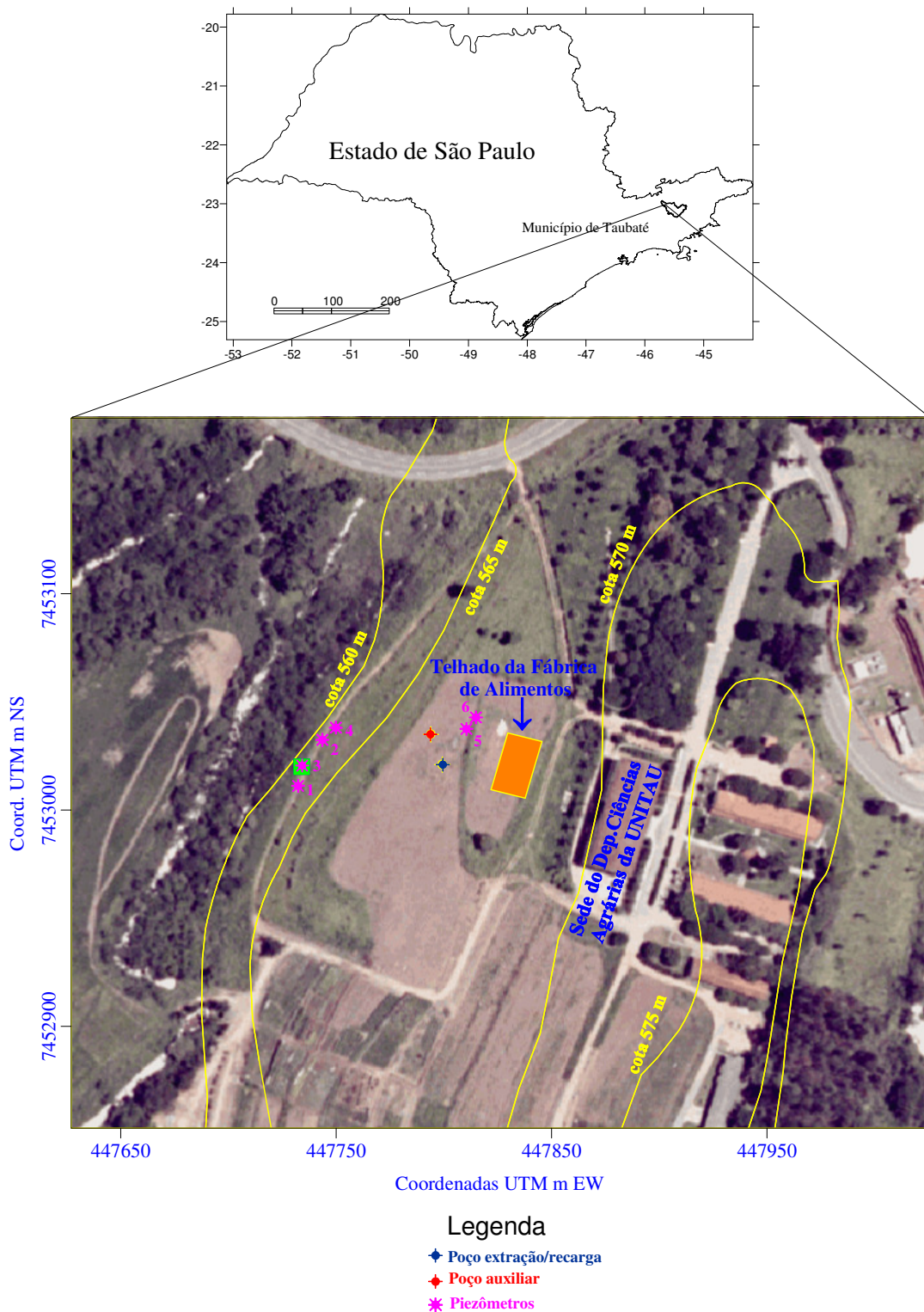


Figura 1. Mapa de localização dos poços e piezômetros amostrados.

A testemunhagem obtida durante a perfuração dos poços possibilitou a caracterização litológica e estratigráfica dos sedimentos terciários da Formação Tremembé e, após serem revestidos com tubos lisos e de filtros, as águas subterrâneas foram amostradas para análises físico-químicas e bacteriológicas.

4 – RESULTADOS E DISCUSSÃO

Amostras de solo foram retiradas durante a construção do piezômetro 1 e, submetidas à difração por raios X. O difratograma (Figura 2) mostra a presença dos argilominerais caulinita e illita, sendo que, em relação aos minerais que constituem a fração grossa, areia e silte, o quartzo é predominante, ocorrendo também a gipsita como mineral secundário.

Os minerais presentes no solo indicam que o mesmo foi formado em clima úmido e quente (presença da caulinita) e eventualmente saturado como os ambientes de várzea (presença da illita, que necessita de locais saturados para a sua formação).

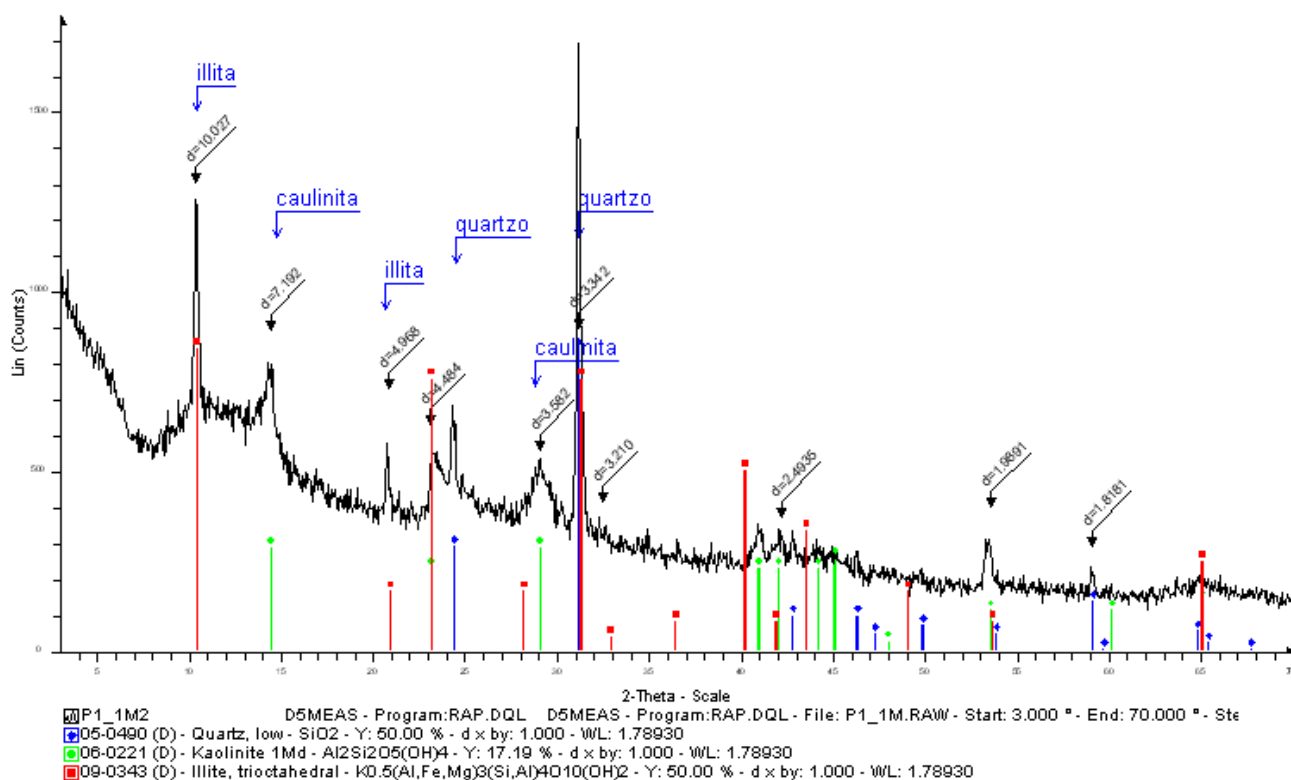


Figura 2. Gráfico obtido da amostra retirada de um metro de profundidade no local do Piezômetro 1, contendo picos de difração dos minerais presentes.

A descrição da testemunhagem obtida durante a construção dos poços indicou que o solo, constituído por latossolo vermelho-amarelo, muito poroso e permeável, possui profundidade de 16 m e, após, segue uma sequência de sedimentos lacustrinos e fluviais, até a profundidade máxima atingida de 115 m, formando argilitos, folhelhos, arenitos e calcários dolomíticos, com nódulos de barita, de idade Terciária e pertencentes à Formação Tremembé, do Grupo Taubaté. Os sedimentos

terciários constituem, localmente, um ótimo aquífero, pois nos poços foram obtidas vazões de até 150 m³/h.

4.1 - Caracterização físico-química e bacteriológica das águas do aquífero freático

Em 26 de abril de 2006, foram coletadas amostras de água do aquífero freático nos piezômetros 1, 2, 3, 4, e 5, e levadas para análises no laboratório da SABESP, da Divisão de Controle Sanitário de São José dos Campos, situado à rua Paulo Setúbal n° 19, Vila Adyanna. O piezômetro 6 foi construído posteriormente. Nestas amostras foram investigados 31 parâmetros, destacando-se o conteúdo bacteriológico e de metais pesados. O conteúdo de monoclóroamina foi o único orgânico pesquisado. Os resultados obtidos encontram-se na Tabela 1.

Tabela 1. Resultados das análises químicas e bacteriológicas realizadas pela SABESP, de São José dos Campos (em amarelo os resultados acima dos limites de potabilidade).

Parâmetros	Unidades	Limite de Detecção	Limite Portaria 518/2004	Piezômetros=profundidades (m)				
				P1=4,0	P2=6,0	P3=5,4	P4=4,5	P5=9,4
Alumínio	mg/L	0,02	0,2	0,02	<0,02	0,03	<0,02	0,11
Amônia	mg/L	0,02	1,5	0,12	0,12	0,09	0,15	0,13
Antimônio	mg/L	0,003	0,005	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003
Arsênico	mg/L	0,005	0,01	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005
Bário	mg/L	0,05	0,7	0,65	0,38	0,68	1,21	0,2
Cádmio	mg/L	0,001	0,005	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Cianeto	mg/L	0,03	0,07	<0,03	<0,03	<0,03	0,03	<0,03
Chumbo	mg/L	0,005	0,01	0,274	0,116	0,222	0,745	0,076
Cloreto	mg/L	1	250	23,01	<1	11,88	<1	<1
Cobre	mg/L	0,05	2	0,06	<0,05	0,07	0,18	0,22
Cond. Específica	µS/cm	0,1		109,9	24,2	51,5	16	15,5
Cor Aparente	UC	5	15	3000	1250	1750	5000	500
Cromo Total	mg/L	0,005	0,05	0,053	0,027	0,059	0,15	0,031
Escherichia Coli	NMP/100ml	1	0	<1	<1	<1	25	<1
Ferro	mg/L	0,05	0,3	105,56	42,78	103	211,6	25,18
Fluoreto	mg/L	0,2	1,5	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
Manganês	mg/L	0,05	0,1	2,46	1,24	2,24	7,64	0,83
Mercúrio	mg/L	0,0002	0,001	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002
Monocloramina	mg/L	0,06	3	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06
Nitrato	mg/L	0,05	10	0,92	1,2	1,22	0,6	0,7
Nitrito	mg/L	0,01	1	0,02	<0,01	0,01	<0,01	<0,01
pH	pH			4,9	5,3	5,1	5,4	5,7
Selênio	mg/L	0,005	0,01	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005
Sódio	mg/L	0,05	200	4,75	2,06	1,5	1,25	0,64
Sulfato	mg/L	2	250	6,4	3,15	2,21	26,58	2,22
Sulfeto	mg/L	0,03	0,05	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03
Surfactantes	mg/L	0,03	0,5	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03
Turbidez	NTU	0,1	5	1840	780	1280	4010	318
Zinco	mg/L	0,05	5	0,175	0,162	0,269	0,42	0,272
Sólidos Totais Dis.	mg/L	1	1000	56	11	24	7	7
Temp.da Amostra	°C			24	24	24	24	24

A origem do bário encontrado acima dos limites no piezômetro 4 é devido à alteração da barita proveniente dos sedimentos terciários durante a formação do latossolo. O chumbo, encontrado acima dos limites em todas as amostras, é originado da alteração do mineral monazita (sulfato de urânio e tório) proveniente dos granitos, cuja alteração, erosão e transporte possibilitaram a formação dos depósitos sedimentares terciários. O chumbo provém do decaimento radioativo do tório (meia vida de aproximadamente 700 milhões de anos, idade das rochas graníticas cristalinas da região) e sendo assim, há uma grande porcentagem deste elemento no mineral monazita. O sulfato de chumbo é bastante solúvel em água mas como possui elevado peso molecular, somente pode ser transportado junto com os agregados coloidais constituídos por argilo-minerais, óxidos e hidróxidos de ferro e manganês, que são responsáveis pela elevada turbidez, cor, ferro total e manganês, nas águas do aquífero freático, como pode ser verificado na Tabela 1. O poder de transporte destas águas é devido à alta porosidade do solo (53%).

Os resultados das análises bacteriológicas mostram que as águas do piezômetro 4 estão contaminadas com a bactéria *Escherichia Coli*, um coliforme fecal. A presença de bactérias fecais no piezômetro 4, a 4,5 m de profundidade, indica que o aquífero freático é muito vulnerável na região, pois o solo possui alta porosidade e horizontes predominantemente arenosos, com pouca argila ou fração fina para conter as bactérias, que migram facilmente das fossas sépticas, instaladas na secção do solo não saturado, até o aquífero freático, juntamente com a água que percola advinda das chuvas.

A presença de bactérias (coliformes fecais) indica que estas são transportadas junto com os colóides e sobrevivem no solo até a profundidade de 4,5 m ao menos, já que esta é a profundidade do piezômetro 4.

A quantidade de sólidos totais dissolvidos (variando entre 7 e 56 mg/L) indica que os elementos dissolvidos em estado iônico, perfazem uma pequena quantidade somente, havendo no entanto uma grande quantidade de agregados no estado coloidal. O pH encontrado é ácido, variando entre 4,9 e 5,7.

A origem da reação ácida do solo foi inicialmente atribuída à presença da matéria orgânica que, por decomposição, forma ácidos orgânicos; estes por sua vez, comunicariam ao solo o caráter ácido. No início da década de 1950, houve a proposta da teoria de que os solos que na natureza se apresentavam ácidos, estavam não só saturados com H^+ , mas também e predominantemente, com Al^{+3} (KIEHL, 1979 [17]). Segundo BRADY (1989 [18]), os microorganismos e os vegetais são sensíveis aos seus ambientes químicos. A acidez é comum em todas as regiões onde a precipitação é suficientemente elevada para lixiviar quantidades apreciáveis de bases permutáveis (como o cálcio e o magnésio) na água de drenagem. Eles são substituídos por elementos acidificantes como o hidrogênio, o manganês e o alumínio.

Assim sendo, os solos formados sob condições de alta pluviosidade (condição encontrada na bacia hidrográfica do rio Una) são mais ácidos do que aqueles formados sob condições áridas (LOPES, 1989 [19]). RAIJ (1991[20]), afirma que o alumínio é, assim, causa da acidez excessiva de solos. Em condições elevadas de acidez dos solos, podem ocorrer também teores solúveis de outros metais, tais como ferro, chumbo, cromo (DREVER, 1997 [21]) e manganês, que podem apresentar índices acima da potabilidade (piezômetro 4).

Outras causas da acidez, segundo COELHO (1973 [22]), são o cultivo intensivo (condição realizada no Departamento de Ciências Agrárias da UNITAU) , pois as plantas retiram do solo os nutrientes essenciais de que necessitam para seu desenvolvimento e produção, e como as adubações são geralmente deficientes em cálcio e magnésio, o solo vai-se empobrecendo nessas bases trocáveis, ficando em seu lugar íons de hidrogênio.

Uma primeira avaliação dos resultados das análises da água coletada nos piezômetros, no dia 26 de abril de 2006, mostrou que dentre estes, o piezômetro 4 foi o que apresentou o maior índice de contaminação das águas frente aos parâmetros da Portaria 518/2004 do Ministério da Saúde. Assim sendo, foi realizada uma nova coleta neste piezômetro, em 23 de agosto de 2006, para analisar os parâmetros constituídos pelos orgânicos e compará-los com o mesmo tipo de análise realizada no piezômetro 5 (Tabela 2). Desta vez, as análises foram realizadas pelo Laboratório Quimlab, da UNIVAP (Universidade do Vale do Paraíba), situado em Jacareí.

Tabela 2. Análises de orgânicos realizadas com amostras de água coletadas nos piezômetros 4 e 5, em 23 de agosto de 2006.

Parâmetros Analisados	Unidade	Limite da Portaria 518/2004	Resultados – piezômetro 4	Resultados – piezômetro 5
Acrilamida	µg/L	0,50	< 0,1	< 0,1
Benzeno	µg/L	5,0	< 0,5	< 0,5
Benzo(a)Pireno	µg/L	0,70	< 0,1	< 0,1
Cloreto de Vinila	µg/L	5,0	< 1	< 1
1,2 Dicloroetano	µg/L	10	< 2	< 2
1,1 Dicloroetano	µg/L	30	< 5	< 5
Diclorometano	µg/L	20	< 5	< 5
Estireno	µg/L	20	< 1	< 1
Tetracloroeto de Carbono	µg/L	2,0	< 1	< 1
Tetracloroetano	µg/L	40	< 2	< 2
Triclorobenzenos	µg/L	20	< 5	< 5
Trihalo Benzenos	µg/L	20	< 5	< 5
Tricloroetano	µg/L	70	< 5	< 5
Trihalometano Total	mg/L	0,10	< 0,05	< 0,05
Monoclorobenzeno	mg/L	0,12	< 0,05	< 0,05
Etilbenzeno	mg/L	0,20	< 0,05	< 0,05
Tolueno	mg/L	0,17	< 0,05	< 0,05
Xileno	mg/L	0,30	< 0,05	< 0,05

Verifica-se, nestas análises que na área do Departamento de Ciências Agrárias da UNITAU, onde é pequeno o uso de combustíveis e solventes, não há vestígios de solventes aromáticos, halogenados ou não halogenados, nas águas do aquífero freático nos piezômetros 4 e 5.

Na Tabela 3 são mostrados os resultados dos principais inorgânicos analisados nos piezômetros 4 e 5. A diferença dos resultados dos piezômetros 4 e 5 não é significativa para estes elementos.

Tabela 3. Análises de inorgânicos realizadas com amostras de água coletadas nos piezômetros 4 e 5, em 23 de agosto de 2006.

Parâmetros Analisados	Unidade	Limite da Portaria 518/2004	Resultados – piezômetro 4	Resultados – piezômetro 5
Alcalinidade de Bicarbonatos	mg/L CaCO ₃		18,0	25,0
Cálcio	mg/L		3,17	9,04
Dureza Total	mg/L	500	14,3	13,8
Potássio	mg/L		0,47	2,60
Magnésio	mg/L		1,55	1,76
Sílica	mg/L		3,0	3,5

Foi realizada uma amostragem do piezômetro 5, em 13 de julho de 2007, tendo sido retirada a quantidade de 5 kg de água que, após secagem em estufa, resultou em 2,08 kg de material sólido, ou seja, 41,6%. Isto mostra a capacidade de transporte de material sólido no aquífero freático. A análise do material sólido seco foi realizada no Laboratório de Geoquímica da UNESP de Rio Claro, SP, e os resultados encontram-se na Tabela 4. Alguns elementos são constituídos por terras raras (lantânio e o cério) cuja origem provável advém do decaimento radioativo do tório existente no mineral monazita (alterado).

Tabela 4. Análises de componentes do material sólido encontrado no piezômetro 5.

Substância	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	LOI*
(%)	85,30	0,30	8,02	1,89	0,10	0,14	0,08	0,11	0,85	0,04	3,16
Elemento	Ba	Ce	Cr	Cu	La	Nb	Ni	Rb	Sr	Y	Zr
(ppm)	330	233	72	3	36	5	9	75	52	56	298

*LOI (loss on ignition) – perda de material volátil durante a fusão da amostra

Este mesmo material (sólidos transportados no aquífero freático) foi submetido a uma análise granulométrica e os resultados encontram-se na Tabela 5. Verifica-se que, mesmo com a ranhura (janela) do pré-filtro dos piezômetros instalados sendo de apenas 0,75 mm, passa para a câmara do piezômetro material particulado muito grosso (grânulos, areia muito grossa e areia grossa) que são transportados nas águas subterrâneas do aquífero freático junto com os colóides (material silto-argiloso). Segundo as análises, as areias perfazem 46,92% do material transportado.

Tabela 5. Análises granulométrica do material sólido encontrado no piezômetro 5.

Grânulo	Areia muito grossa	Areia grossa	Areia média	Areia fina	Areia muito fina	Silte e argila
0,22g	0,59g	1,84g	8,83g	10,15g	3,94g	28,43g
0,40%	1,09%	3,40%	16,35%	18,79%	7,29%	52,64%

Os resultados (Tabelas 4 e 5) encontrados para o material transportado pelo aquífero freático mostram que grande parte dele é constituído por silicatos (principalmente quartzo, formador dos

grânulos, areias e siltes) e, uma pequena quantidade de argilo-minerais e de minerais constituídos por óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio (colóides).

No período entre 31 de outubro de 2006 a 21 de junho de 2007 as águas subterrâneas dos piezômetros 4 e 5 foram amostradas para fins de análise expedita de parâmetros físico-químicos e bacteriológicos no Laboratório de Processos Biológicos Aplicados ao Meio Ambiente, do Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais da UNITAU. Nas Tabelas 6 e 7 encontram-se os resultados obtidos.

Tabela 6. Parâmetros físicos e bacteriológico das águas subterrâneas obtidas no piezômetro 4

Parâmetros analisados	Datas (2006)					Datas (2007)		
	31/10	7/11	13/11	21/11	28/11	8/1	5/2	13/2
pH	5,06	5,05	4,93	4,98	5,17	5,25	5,56	5,76
Condutividade (uS/cm)	23,6	34,1	43,7	74,49	60	40,5	26,6	28
Turbidez (NTU)	2613	2700	2240	251	159,4	342	498	324
Cor (Pt-Co)	9800	8400	8080	638	654	230,4	2416	180
Precipitação acumulada semanal (mm)	29,9	31,2	6,1	35,6	66,3	63	3,6	63,2
Temperatura da água (°C)	22	22	22	22	23	23	23	23,5
Temperatura do ar (°C)	30	20	19	23	28	29	24,5	23,5
Coliformes totais (NMP/100ml)	n.d	7	n.d	50	25	7	25	7
Coliformes fecais	n.d	0	n.d	0	0	0	0	0
Sólidos sedimentáveis (ml/l)	n.d	34	18	3	2,5	6	3,5	2
Profundidade do nível d'água (m)	n.d	n.d	3,77	3,29	3,39	3,41	3,95	4,4

Parâmetros analisados	Datas (2007)								
	27/2	13/3	20/3	17/4	20/4	15/5	29/5	5/6	21/6
pH	5,72	5,56	5,2	4,92	5,33	5,43	5,02	5,13	4,7
Condutividade (uS/cm)	29,6	36	131,4	152,7	92,6	112	193	170,5	268
Turbidez (NTU)	814	934,5	236	470	654	684	244,8	3480	267,8
Cor (Pt-Co)	188,4	3645	904	1420	1782	3052	1568	11100	556
Precipitação acumulada semanal (mm)	1,9	4,2	72,3	38,4	22,8	16,4	28,4	24,1	0
Temperatura da água (°C)	24,5	24	23,5	24	24	18	22,5	21,5	24
Temperatura do ar (°C)	24	26	24	25	26,5	20	19	12	27
Coliformes totais (NMP/100ml)	8	7	8	n.d	7	<2	11	14	7
Coliformes fecais	0	0	0	n.d	0	0	0	0	0
Sólidos sedimentáveis (ml/l)	3,5	9,5	4	4		7	2	15	2
Profundidade do nível d'água (m)	3,56	3,64	3,54	3,56	3,46	3,65	3,65	3,65	3,74

As Tabelas 6 e 7 mostram que o pH das águas subterrâneas do aquífero freático é ácido (entre 4,7 e 5,76, para o piezômetro 4 e, 5,5 e 6,21 para o piezômetro 5). De uma forma geral a acidez do pH diminui com a precipitação pois, segundo KIEHL (1979 [17]) e LIMA et.al. (2002 [23]), a alcalinidade das águas do aquífero freático ocorre quando a pluviosidade é baixa e acumulam-se sais de cálcio, magnésio, potássio e carbonato de sódio, saturando o complexo coloidal. Este acúmulo de sais é refletido pelo aumento da condutividade nos períodos de menor precipitação, constatado nos piezômetros 4 (que varia de 23 a 268 $\mu\text{S/cm}$) e 5 (que varia de 30,3 a 64,6 $\mu\text{S/cm}$). O autor cita que, a alcalinidade ocorre quando a maior parte das cargas negativas

dependentes do pH estão saturadas por bases, as quais desalojam o hidrogênio, que passará para a solução do solo. As bases predominarão na solução do solo.

Tabela 7. Parâmetros físicos e bacteriológico das águas subterrâneas obtidas no piezômetro 5

Parâmetros analisados	Datas (2006)					Datas (2007)		
	31/10	7/11	13/11	21/11	28/11	8/1	5/2	13/2
pH	6,17	5,9	5,82	5,8	6,1	5,85	5,74	6,1
Condutividade (uS/cm)	64,5	61,4	61,4	64,6	62,2	54,9	48,8	47,8
Turbidez (NTU)	1293	1800	2120	1484	1030	55,3	187	1102
Cor (Pt-Co)	3342	6.180	6100	4180	2964	267	662	502
Precipitação acumulada semanal (mm)	29,9	31,2	6,1	35,6	66,3	63	3,6	63,2
Temperatura da água (°C)	23	22	22	23	23	23	23	23
Temperatura do ar (°C)	30	20	19	20	26	29	23	23
Coliformes totais (NMP/100ml)	n.d	<2	n.d	2	4	2	2	4
Coliformes fecais	n.d	0	n.d	0	0	0	0	0
Sólidos sedimentáveis (ml/l)	n.d	25	21	15	8,5	< 1	<1	5
Profundidade do nível d'água (m)	n.d	n.d	n.d	8,98	8,75	8,65	8,4	8,6

Parâmetros analisados	Datas (2007)								
	27/2	13/3	20/3	17/4	24/4	15/5	29/5	5/6/	21/6
pH	5,81	6,16	5,75	6,21	6,16	5,78	5,79	5,77	5,5
Condutividade (uS/cm)	46,2	52,9	47,4	42,5	39,5	38,5	38,6	38	30,3
Turbidez (NTU)	466	572	234	398,6	100	498	291,8	450	1382
Cor (Pt-Co)	153	3345	762	954	283	2278	1062	1702	3968
Precipitação acumulada semanal (mm)	1,9	4,2	72,3	38,4	22,8	16,4	28,4	24,1	0
Temperatura da água (°C)	23,5	24	23	23,5	24	22	23	21	24
Temperatura do ar (°C)	23,5	28	24	24,5	26,5	20	23	11,5	26,5
Coliformes totais (NMP/100ml)	6	4	2	n.d	<2	<2	2	<2	4
Coliformes fecais	0	0	0	n.d	0	0	0	0	0
Sólidos sedimentáveis (ml/l)	1	8,5	2,5	2	2	5	2,5	2,5	25
Profundidade do nível d'água (m)	8,75	8,83	8,8	8,8	8,77	8,93	8,8	8,93	9,01

Quanto à variação de cor e turbidez (Tabelas 6 e 7), verifica-se que diminuem com a precipitação indicando que há uma maior dissolução dos colóides e sólidos particulados transportados nos períodos chuvosos.

Verifica-se uma relação consistente entre diminuição da temperatura das águas e aumento dos coliformes totais, indicando que as temperaturas mais baixas são favoráveis ao desenvolvimento das bactérias do solo.

4.2 - Caracterização físico-química e bacteriológica das águas do aquífero confinado

Foram construídos dois poços tubulares profundos na área da pesquisa e utilizados para coleta de água a fim de caracterização físico-química do aquífero confinado desenvolvido sobre os sedimentos da Formação Tremembé, do Grupo Taubaté.

Com a perfuração dos poços pode-se verificar a ocorrência de latossolo até a profundidade de 16 m (totalmente revestido e isolado por cimentação), máxima profundidade para o aquífero freático. De 16 m até a profundidade de 66 m, ocorrem sedimentos terciários formados por

seqüências de argilitos e arenitos, com baixa condutividade hidráulica, que constituem um aquífero do tipo semi-confinado (transmissividade da ordem de 0,5 m²/h), isto é, onde as camadas superiores possuem uma drenagem lenta para o aquífero confinado (transmissividade da ordem de 8 m²/h) situado na profundidade entre 66 e 115 m (profundidade final do Poço de Extração). Entre 16 e 66 m, os poços foram isolados com tubos lisos, sendo que a partir desta profundidade foram instalados os tubos de filtro.

Na tabela 8 são mostrados os resultados dos principais cátions e ânions analisados.

Tabela 8. Análise físico-química realizada pelo Laboratório Quimlab com amostra de água coletada no Poço de Extração, no dia 19 de outubro de 2006.

Parâmetros	Unidade	Limite de detecção	Limite Portaria 518/2004	Poço Extração Profundidade: 87 m
Características físicas				
Potencial Redox (Eh)	°C	-	-	+318
pH	pH	-	6,0 a 9,5	7,94
Sólidos Totais Dissolvidos	mg/L	1	1000	131
Compostos				
Dureza Total	mg/L	-	500	50,5
Sílica	mg/L	-	-	5,2
Metais				
Bário	mg/L	0,05	0,7	0,42
Chumbo	mg/L	0,005	0,01	<0,005
Ferro	mg/L	0,05	0,3	1,96
Manganês	mg/L	0,05	0,1	0,12
Ametais				
Fluoreto	mg/L	-	1,5	<1
Cátions principais				
Cálcio	mg/L	-	-	17,21
Potássio	mg/L	-	-	2,17
Magnésio	mg/L	-	-	1,83
Sódio	mg/L	0,05	200	51,75
Ânions principais				
Alcalinidade em bicarbonatos	mg/L CaCO ₃	-	120	9,3
Alcalinidade em carbonatos	mg/L CaCO ₃	-	-	37,1
Cloreto	mg/L	1	250	0,76
Nitrato	mg/L	0,05	10	2,94
Sulfato	mg/L	2	250	2,55

Verifica-se que a água do aquífero sedimentar profundo é cristalina, não apresentando cor ou turbidez. Entre os metais tóxicos, apresenta baixo teor de bário (0,42 mg/L), cuja presença está relacionada com o mineral barita existente nos sedimentos terciários da Formação Tremembé. O ferro total (1,96 mg/L) encontra-se acima dos limites de potabilidade da Portaria 518/2004 do Ministério da Saúde.

Quanto ao tipo, as águas do aquífero profundo, confinado, são classificadas como sendo sulfatadas cálcicas, fracamente salinizadas, conforme é mostrado no diagrama triangular de Piper (PIPER, 1944 [24]; DEUTSCH, 1997 [25]) da Figura 3.

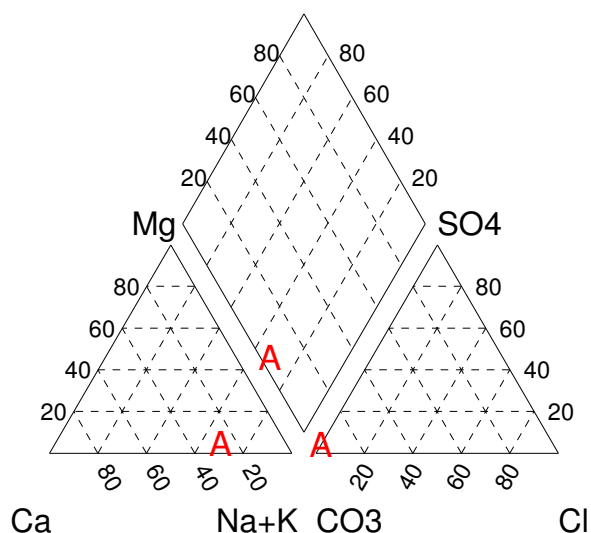


Figura 3. Ponto representativo das águas do Poço de Extração, no diagrama triangular de Piper.

O diagrama de estabilidade do ferro (FETTER, 1988 [26]), da Figura 4, mostra que as águas subterrâneas do aquífero confinado tem este elemento, em solução, na forma de hidróxido férrico.

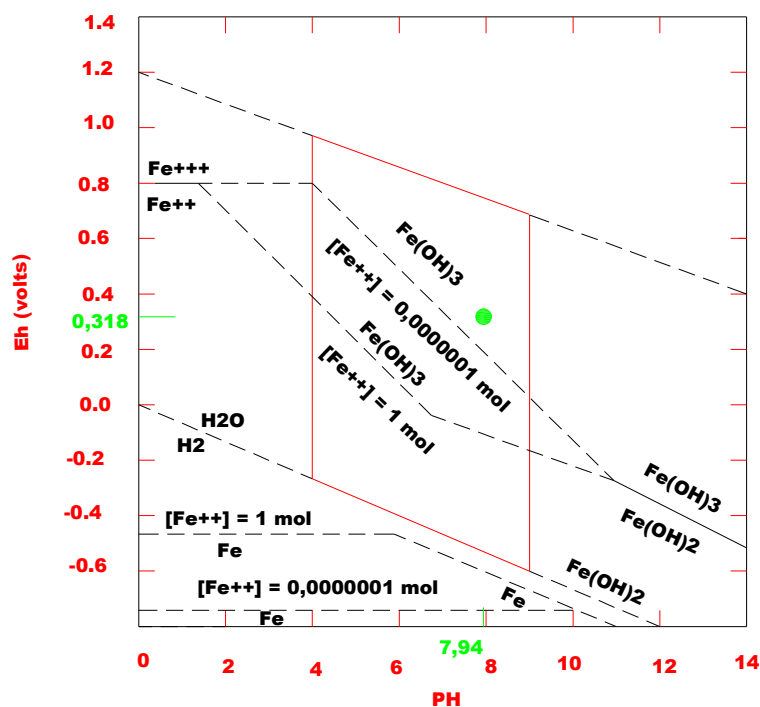


Figura 4. Diagrama de estabilidade do ferro (ponto em verde), representativo das águas subterrâneas do Poço de Extração.

Na Tabela 9 são mostrados os resultados das análises físico-químicas e bacteriológicas com amostra de águas retiradas, do Poço de Extração, e da chuva coletada na calha do telhado da Fábrica de Alimentos da UNITAU, situada na vizinhança, no dia 29 de fevereiro de 2008. Estas análises foram realizadas no Laboratório Ecolabor.

Tabela 9. Análise dos parâmetros da Portaria 518/2004, realizada pelo Laboratório Ecolabor com amostra coletada no Poço de Extração e amostra de água da chuva, no dia 29 de fevereiro de 2008.

Parâmetros	Unidades	Limite de detecção	Limite Portaria 518/2004.	Poço de Extração	Água de chuva
Glifosato	µg/L	11	33	ausente	ausente
Metolaclor	µg/L	0,005	10	ausente	ausente
Físicos					
Cor Aparente	uH	2	15	5	6
Odor	--	--	não objetável	nenhum	nenhum
Sólidos Dissolvidos Totais	mg/L	1	1000	144	18
Turbidez	UT	0,19	5	1,08	0,70
Hidrocarbonetos Aromáticos Polinucleares (PAH's)					
Benzo a Pireno	µg/L	0,007	0,7	ausente	ausente
Pesticidas Organoclorados ¹					
Herbicidas ²					
Outros Semivoláteis ³					
Herbicidas Triazinas ⁴					
Metais					
Alumínio Total	mg Al/L	0,010	0,2	0,11	ausente
Antimônio	mg Sb/L	0,002	0,005	ausente	ausente
Arsênio	mg As/L	0,002	0,01	ausente	ausente
Bário Total	mg Ba/L	0,0002	0,7	0,0822	0,0010
Cádmio Total	mg Cd/L	0,0002	0,005	ausente	ausente
Chumbo Total	mg Pb/L	0,0004	0,01	0,0015	0,0007
Cobre Total	mg Cu/L	0,0005	2	0,0085	0,0043
Cromo Total	mg Cr/L	0,0002	0,05	ausente	0,0010
Ferro	mg Fe/L	0,006	0,3	0,155	0,022
Manganês	mg Mn/L	0,0002	0,1	0,0187	0,0053
Mercúrio	mg Hg/L	0,0002	0,001	ausente	ausente
Selênio Total	mg Se/L	0,002	0,01	ausente	ausente
Sódio Total	mg Na/L	0,02	200	33,4	0,382
Zinco Total	mg Zn/L	0,002	5	0,0651	2,66
Microbiológico					
Coliformes Fecais	NMP/100mL	ausente	ausente	16,1	ausente
Coliformes Totais	NMP/100mL	ausente	ausente	110	ausente
Bactérias Heterotróficas	UFC/mL a 35°C 48h	ausente	500	580	55,0 x 10 ³
Parâmetros Não Metálicos					
Bromato	mg/L	0,002	0,025	ausente	ausente
Cianeto	mg CN/L	0,004	0,07	ausente	ausente
Cloretos	mg Cl/L	0,03	250	0,50	0,6609
Clorito	mg/L	0,002	0,2	ausente	0,0036
Cloro Residual Livre	mg/L	0,1	5	ausente	ausente
Dureza Total	mg CaCO ₃ /L	0,01	500	30,5	0,718
Fluoretos	mg F/L	0,004	1,5	0,268	0,0116
Monocloramina	mg/L	0,1	3	ausente	ausente
N Amoniacal	mg NH ₃ /L	0,03	1,5	0,04	0,06
Nitratos	mg N/L	0,003	10	0,008	0,137
Nitritos	mg N/L	0,001	1	ausente	ausente
pH - água	--	--	6,0-9,5	8,42	6,73
Sulfatos	Mg SO ₄ /L	0,009	250	1,653	0,581
Sulfeto de Hidrogênio H ₂ S	mg/L	0,05	0,05	ausente	ausente
Agregados Orgânicos					
Surfactantes Aniônicos	mg LAS/L	0,07	0,5	ausente	ausente
Solventes Aromáticos ⁵					
Solventes Não Halogenados					
Acrilamida	µg/L	0,5	0,5	0,6	0,5
Solventes Halogenados ⁶					
Fenóis ⁷					

*¹: alaclor, aldrin+dieldrin, clordano (cis + trans), DDT (isômeros), endosulfan, endrin, gama-BHC (lindano), heptacloro, heptacloro epóxido, hexaclorobenzeno, metoxicloro, permetrina e trifluralina – parâmetros ausentes nas duas amostras

*²: bentazona e 2,4 –D - parâmetros ausentes nas duas amostras

*³: molinato, pendimetalina e propanil - parâmetros ausentes nas duas amostras

*⁴: atrazina e simazina - parâmetros ausentes nas duas amostras

*⁵: benzeno, estireno, etilbenzeno, tolueno, xilenos - parâmetros ausentes nas duas amostras

*⁶: 1,1-dicloroetano, 1,2,3-triclorobenzeno, 1,2,4-triclorobenzeno, 1,2-dicloroetano, cloreto de metileno (diclorometano), cloreto de vinila, monoclorobenzeno, tetracloreto de carbono, tetracloroetano, tricloroetano, trihalometanos - parâmetros ausentes nas duas amostras

*⁷: 2,4,6-triclorofenol e pentaclorofenol - parâmetros ausentes nas duas amostras

De uma forma geral, os cátions e ânions principais e sólidos totais dissolvidos, analisados pelo Laboratório Ecolabor são próximos dos valores encontrados na análise realizada pelo Laboratório Quimlab. A presença de coliformes fecais, indica contaminação das águas do poço por bactérias já que, na época da análise, ainda não havia sido feita a desinfecção do poço. Esta foi realizada posteriormente, por meio da utilização de 4 litros de hipoclorito de sódio (MARTINS NETTO et al, 2006 [27]) e, uma semana após a aplicação não havia mais contaminações por bactérias.

O conteúdo acima dos limites do parâmetro acrilamida é devido à proximidade da Fábrica de Alimentos da UNITAU, situada vizinha aos poços, já que a sua origem é relacionada com o vapor da fervura de alimentos e que contaminou a água do tanque de lama utilizado na perfuração. Este parâmetro foi controlado após sucessivos bombeamentos da água do Poço de Extração.

5 - CONCLUSÕES

Embora as águas do aquífero confinado sejam resultado das modificações físico-químicas das águas provenientes do aquífero freático durante os processos de percolação profunda, suas características são bastante diferenciadas. Por exemplo, o pH das águas do aquífero freático varia entre 4,9 e 5,4 (ácido) enquanto que as do aquífero confinado entre 7,5 e 7,9 (básico).

Da mesma forma, embora o aquífero freático contenha águas que transportam uma grande quantidade de massa coloidal, constituída principalmente por argilominerais, óxidos, hidróxidos e sulfatos de ferro e manganês, a quantidade de sólidos dissolvidos é pequena, apenas 7 mg/L, enquanto as águas profundas, do aquífero confinado, são cristalinas (não apresentam colóides em suspensão) mas, possuem uma quantidade maior de sólidos totais dissolvidos (131 mg/L).

A existência de coliformes fecais nas águas do aquífero freático (determinadas no piezômetro 4), mostra que há infiltrações de águas provenientes de fossas sépticas existentes no

Departamento de Ciências Agrárias da UNITAU que, na época das análises, ainda não tratava os esgotos domésticos. De qualquer forma, a existência de bactérias nas águas subterrâneas mostram que o poder de transporte de contaminantes, no aquífero freático, é elevado.

Teores de bário, chumbo e cromo, encontrados acima dos limites da Portaria 518/2004 do Ministério da Saúde em algumas amostras de água dos piezômetros mostram contaminação de origem natural.

6 - BIBLIOGRAFIA

- [1] SANTORO, J.; DINIZ, H.N.; CORREIA, N.T.; CARBONE, F.R.; SCIOTTA, L.C.O. Estimativa da recarga do aquífero freático na bacia do Rio Una, no município de Taubaté, SP. *Ambiente e Água*, ISSN:1980-993X, Taubaté, v.2, p.57-82, 2007.
- [2] DINIZ, H.N.; SANTORO, J.; CORREIA, N.T.; CARBONE, F.R.; SCIOTTA, L.C.O. Avaliação da recarga do aquífero freático: um estudo de caso no município de Taubaté-SP. XV Encontro Nacional de Perfuradores de Poços, 2007, Gramado. *Anais...* ABAS, São Paulo, v.1. p. 1-20., 2007.
- [3] DINIZ, H.N.; TINOCO, M.P.; MONTEIRO, J.L. Recarga artificial por meio de poço tubular profundo, município de Taubaté, SP. XV Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, 2008, Natal. *Livro de Resumos...* ABAS, Natal, v.1. p. 65-65, 2008.
- [4] OLIVEIRA, J.B.; CAMARGO, M.N.; ROSSI, M.; FILHO, B.C. Mapa Pedológico do Estado de São Paulo: legenda expandida. IAC (Instituto Agrônomo de Campinas) – Embrapa Solos (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária), Campinas, 64 p., mapa, 1999.
- [5] RICCOMINI, C. O Rift Continental do Sudeste do Brasil. Tese de doutoramento, Instituto de Geociências da USP, São Paulo, 256 p., 1989.
- [6] HASUI, Y.; GIMENEZ, A.F.; MELO, M.S. Sobre as bacias tafrogênicas do sudeste brasileiro. XXX Congresso Brasileiro Geologia, 1978, Recife. *Anais...* SBG, Recife, p.382-392, 1978.
- [7] MELO, M.S.; CAETANO, S.L.V.; COIMBRA, A.M. Tectônica e sedimentação nas áreas das bacias de São Paulo e Taubaté. XXXIV. Congresso Brasileiro de Geologia, 1986, Goiânia. *Anais...*SBG, Goiânia, p.321-336, 1986.
- [8] MARQUES, A. Evolução tectono-sedimentar e perspectivas exploratórias da Bacia de Taubaté, São Paulo, Brasil. *Boletim de Geociências*, Petrobrás, Rio de Janeiro, v.4, n.3 (julho/setembro), p.253-262, 1990.

- [9] SOUZA, J.C.S. Estudo hidrogeológico da região de Lorena. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 174 p., 2004.
- [10] HASUI, Y.; PONÇANO, W. Organização estrutural e evolução da Bacia de Taubaté. XXX Congresso Brasileiro Geologia, 1978, Recife. *Anais...* SBG, Recife, p.368-381, 1978.
- [11] CARNEIRO, C.D.R.; HASUI, Y.; GIANCURSI, F.D. (1976). Estrutura da Bacia de Taubaté na região de São José dos Campos. XXIX Congresso Brasileiro de Geologia, 1976, Ouro Preto. *Anais...* SBG, Ouro Preto, v.4, p.247-256, 1976.
- [12] FRANCO FILHO, F.W.B.; SOUZA, J.C.S. Exploração de água subterrânea em São José dos Campos – efeitos observados ao longo do tempo. VIII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, Recife. *Anais...* ABAS/DNPM/CPRM, Recife, dez. 1994, p.113-123, 1994.
- [13] DAEE. Estudo de águas subterrâneas: Região Administrativa 3 – S.J. dos Campos e faixa litorânea. Enco/DAEE - Departamento de Águas e Energia Elétrica, São Paulo, v.1, 112 p. (texto), 1997a.
- [14] DINIZ, H.N. ; BATISTA, G.T. ; SANTORO, J. ; TARGA, M.S. Projeto piloto de recarga artificial na bacia do rio Una, município de Taubaté. 1º Seminário de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Paraíba do Sul, Taubaté. *Anais...* Taubaté, UNITAU, v.1. p. 9-16. 2007.
- [15] VERDADE, F.C.; HUNGRIA, L.S. Estudo genético da Bacia Orgânica do Vale do Paraíba. *Bragantia*, Campinas, v.25, n.16, p.189-202, 1966.
- [16] DAEE. Estudo de águas subterrâneas: Região Administrativa 3, S.J. dos Campos e faixa litorânea. Enco/DAEE – Departamento de Águas e Energia Elétrica, São Paulo, v.5, 160 p. (mapas e tabelas), 1977b.
- [17] KIEHL, E.J. Manual de edafologia: relações solo – planta. Agronômica Ceres, São Paulo, 262 p., 1979.
- [18] BRADY, N.C. Natureza e propriedades dos solos. 7ª. ed. Freitas Bastos, Rio de Janeiro, 898 p, 1989.
- [19] LOPES A.S. Manual de fertilidade do solo. ANDA/POTAFOS, São Paulo, 153 p., 1989.
- [20] RAIJ, B. van. Fertilidade do solo e adubação. Ceres, POTAFOS, Piracicaba, 343 p., 1991.
- [21] DREVER, J.I. The Geochemistry of Natural Waters – Surface and Groundwater Environments. 3.ed., Prentice Hall, ISBN: 0-13-272790-0, New Jersey, 436 p., 1997.
- [22] COELHO, F. S. Fertilidade do solo. 2a. ed. Instituto Campineiro de Ensino Agrícola, Campinas, 384 p., 1973.

- [23] LIMA, M.R.; YOSHIOKA, M.H.; MACANHÃO, P. O ensino de solos através de uso de experimentoteca. In: FÓRUM DE ATIVIDADES FORMATIVAS (1.: Curitiba: 2002). *Anais*. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, Pró Reitoria de Graduação, 2002.
- [24] PIPER, A.M. A graphic procedure in the geochemical interpretation of water analyses. *American Geophysical Union Transaction*, Washington, v.25, p.914–923, 1944.
- [25] DEUTSCH, W.J.; *Groundwater Geochemistry – Fundamentals and Applications to Contamination* – Lewis Publishers, ISBN: 0-87371-308-7, Flórida, p. 221, 1997.
- [26] FETTER, C.W. *Applied hidrogeology*. 2.ed., Macmillan Publ. Comp., New York, 592 p., 1988.
- [27] MARTINS NETTO, J. P. G. ; DINIZ, H. N. ; ANDRADE, T. S. . Problemas associados à cloração de água de poços para atendimento da Portaria 518, e soluções aplicadas. XIV Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, 2006, Curitiba. *Livro de Resumos...* ABAS, Curitiba, v.1, p. 114-114, 2006.