

NOVAS TECNOLOGIAS DE DESINCRUSTAÇÃO QUÍMICA UTILIZADAS NOS POÇOS TUBULARES PROFUNDOS DO SAAE DE CAPIVARI, SP

Hélio Nóbile Diniz¹; José Paulo Godoi Martins Netto² & Rogerio Joroski³

Resumo - Capivari é um município localizado no centro-sul do Estado de São Paulo, na borda leste da Bacia do Paraná. No Município afloram rochas sedimentares paleozóicas pertencentes ao Subgrupo Itararé, do Grupo Tubarão, e, em menor extensão, rochas ígneas intrusivas constituídas por corpos de diabásio e sedimentos inconsolidados constituídos por aluviões, nas margens e leito do rio Capivari e ribeirões afluentes. Metade do abastecimento da cidade é feita por águas subterrâneas captadas através de 28 poços tubulares profundos. Estes poços captam água do Aquífero Tubarão, constituído localmente por arenitos finos e diamictitos, consolidados, contendo cimento carbonático na matriz, depositados em ambiente glácio-marinho e glácio-fluvial, durante o período Permo-Carbonífero, da era Paleozóica.

Devido à natureza dos sedimentos, contendo matriz rica em carbonatos, as águas subterrâneas contém quantidades consideráveis de carbonatos de cálcio, ferro e manganês, dissolvidos. A circulação dessas águas nos poços explotados, provocam precipitações de carbonatos que causam incrustações nos poros das formações geológicas, nos filtros e nas tubulações de recalque nas imediações dos poços bombeados, provocando a queda dos níveis e vazões. Neste trabalho são apresentadas as técnicas de desincrustação, para reabilitação de vazão, utilizadas nos poços de abastecimento público da cidade de Capivari.

ABSTRACT - Capivari is a District situated on the Central-South part of the São Paulo State, on the East edge of the Paraná Basin. On this District outcrop sedimentary Paleozoic rocks that belongs to the Itararé Subgroup, of the Tubarão Group, and, in smaller portions igneous intrusive rocks constituted by dibasic sills and unconsolidated sediments consisted by alluvial plain sands of the Capivari river. Half of the city water supply is made of groundwater dam up through 28 waterwells. These wells collect water from the Tubarão Aquifer, consisted of glaciofluvial sandstone and bouldery tills, consolidated, having carbonaceous cement, that have been deposited on glacial environment during the Permian-Carboniferous period.

¹ Instituto Geológico do Estado de São Paulo – Av. Miguel Stéfano, 3900, Água Funda, São Paulo, SP – Fone (11) 5073-9992 r.2072 – email: heliodin@lycos.com

² Maxiagua Poços Artesianos Ltda. – R. Açatunga, 154, São Paulo, SP – Fone: (11) 5096-5888 – email: maxiagua@maxiagua.com

³ Mojave Tecnologia em Saneamento Ltda. – R. Antonio Gedeão Tosin, 1394, Bela Vista, Almirante Tamandaré, PR – Fone (41) 657-1643 – email: norust@norust.com.br

The groundwater have a large amount of Calcium, Iron and Manganese because the matrix of the sediments that are rich on carbonaceous. The flow of water on the exploitation wells, provoke precipitation of the carbonaceous causing incrustations on the geological formation, around the pumping wells and pipelines, provoking the depletion of groundwater levels and decrease of discharge wells. On this research paper are shown the new technologies of chemical disinfection, for the discharge rehabilitation, that are being used for the public supply of water on the Capivari City.

Palavras-chave: Desincrustação, Orto-fosfatos, Reabilitação de vazões.

INTRODUÇÃO

Capivari é um município (Figura 1) com aproximadamente 43.000 habitantes (SEADE, 2000) cuja população urbana é abastecida por água tratada pelo Serviço Autônomo de Águas e Esgotos – SAAE. A população da zona rural que não possui abastecimento próprio é servida com a água tratada pelo SAAE, através de caminhão pipa. Do total da água tratada (547 m³/h), cerca de 80 m³/h provém ETA-2, cuja água é captada no Ribeirão Água Choca, 160 m³/h provém da ETA-1, cuja água é captada no Ribeirão da Forquilha e o restante (287 m³/h) provém de 44 poços tubulares profundos, dos quais somente 28 estão em operação. Estes poços captam água nos sedimentos de origem glácio-marinho e glácio-fluvial, de idade Permo-Carbonífera, pertencentes ao Subgrupo Itararé do Grupo Tubarão. Localmente, os sedimentos do Subgrupo Itararé constituem o Aquífero Tubarão.

Devido à grande variação de tipos litológicos, tanto vertical como horizontalmente, típica das fácies sedimentares glaciais, o Aquífero Tubarão apresenta-se com grande heterogeneidade, sendo que, em cada local, presente variada gama de tipos aquíferos, sejam livres, semi-livres, semi-confinados e confinados.

Devido à heterogeneidade típica do Aquífero Tubarão, os poços do Município de Capivari também apresentam variada gama de vazões, que são, algumas vezes boas e outras ruins. Estes poços, com o decorrer do tempo de uso apresentam diminuição nas vazões e decréscimos dos níveis d'água, que vão ficando cada vez mais profundos. Uma parcela do decréscimo das vazões tem sido atribuída à incrustação de carbonatos de cálcio, ferro e manganês nas paredes dos poços e nos poros da formação geológica que constitui o aquífero e, que causam a diminuição da circulação da água subterrânea pelo decréscimo da Transmissividade da formação geológica nas proximidades dos poços bombeados (DINIZ *et al.* 1997).

Neste trabalho são divulgados os resultados quanto à utilização de Orto-fosfatos ácidos líquidos na recuperação dos poços e na circulação da água subterrânea nas suas imediações, com melhoria substancial das vazões de exploração.

GEOLOGIA E HIDROGEOLOGIA

Vários autores tentaram subdividir o Subgrupo Itararé, do Grupo Tubarão, em unidades estratigráficas perfeitamente diferenciáveis (FULFARO, 1989; GAMA JR. *et al.*; 1980; GORDON, 1947). Na maior parte das vezes, esta diferenciação não foi possível devido à ampla variação de ambientes e tipos deposicionais encontrados em regiões próximas.



FIGURA 1. Mapa de localização do Município de Capivari, no Estado de São Paulo.

Na região de Capivari, a estratigrafia e as mudanças litológicas encontradas em poços tubulares perfurados pelo Instituto Geológico da Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo até profundidades de 300 m, foram estudadas por PETRI (1992), PETRI & PIRES (1992) e PETRI *et al.* (1996).

A Formação ou Facies Tietê foi admitida como a unidade superior. A superfície de discordância entre o depósito inferior, constituído pela Formação ou Facies Capivari, é formada por uma paleotopografia bem caracterizada, causada por blocos soerguidos e rebaixados, produto de

movimentos tectônicos que atuaram na Bacia Sedimentar do Paraná, na fase final do período glacial paleozóico.

As perfurações foram realizadas com sonda rotativa a aço granulado, que permite a recuperação integral dos testemunhos da sondagem. A grande quantidade de material da formação recuperado nas perfurações permitiram a descrição detalhada das feições sedimentares encontradas (PETRI & PIRES, 1992). Permitiram também, o reconhecimento litológico e estrutural da Formação Tietê e do contato geológico com a Formação Capivari subjacente.

Na Formação Tietê são reconhecidas espessas de camadas arenitos (DINIZ, 1990), com dezenas de metros, geralmente de finos a médios, quartzosos, com cimento carbonático, contendo nódulos ferruginosos, micro-falhas, filmes siltícos, laminação convoluta e plano-paralela, e estruturas fluidais. São intercalados por camadas mais finas, métricas, de siltitos compactos ou rítmicos ou, por camadas decimétricas de argilito contendo slickensides. Camadas de diamictitos com matriz siltíco-arenosa, com espessura de alguns metros são frequentes no topo da Formação Tietê.

Normalmente, no Município de Capivari, a Formação Tietê não excede 70 m e ocupa o topo dos vales ou encostas dos morros. O contato inferior, com a Formação Capivari é discordante.

A Formação Capivari é constituída por camadas de ritmitos com lâminas alternadas de silito ou arenito muito fino, cor cinza claro, intercaladas por lâminas escuras, argilosas, contendo material carbonoso, orgânico. Estas camadas atingem espessuras de dezenas de metros,. Camadas de silito maciço ou folhelho, métricas, estão presentes. Ocorrem diamictitos com matriz siltíco-argilosa, que podem atingir dezenas de metros. Segundo PETRI & PIRES (1992), os diamictitos com matriz areno-argilosa convergem para um modelo de fluxo de detritos, provenientes de uma borda continental situada a nordeste de Capivari, depositados em mar transgressivo Permo-Carbonífero, cuja transgressão marinha vinha de sudoeste para nordeste. A presença de sedimentos psamíticos conforma com o modelo de sedimentação marinha adotada para a área.

MATERIAIS E MÉTODOS

O método empregado para a recuperação das vazões dos poços do Município de Capivari, foi o da desincrustação química utilizando produto (com certificado de atoxidade) composto por: Ortofosfatos com características ácidas, estabilizantes, anti-corrosivos, umectantes e isentos de metais pesados.

Nos trabalhos de desincrustação foi empregado um agente bactericida que atua na esterilização do poço e como coadjuvante do processo de desincrustação. Este produto possui compostos que reagem de forma catalítica em contato com a água, além de retardadores e estabilizantes de reações, que permitem uma ação mais profunda nos sedimentos.

Para aplicação dos produtos nos poços foi montado um sistema de circulação de fluidos contendo dosadores dos agentes químicos. Dois métodos foram empregados, no primeiro método utilizou-se a própria bomba submersa já instalada no poço e, no segundo as bombas foram retiradas e instalado um sistema de bombeamento com ar comprimido – “air lift”, contendo um injetor instalado em um tubo colocado até o fundo do poço. A partir deste tubo de descarga d’água foi montado o sistema de circulação contendo os dosadores dos agentes químicos.

A utilização do próprio conjunto bombeador do poço mostrou ser uma opção muito interessante do ponto de vista de redução de custos da operação e de drástica redução do tempo de paralisação do poço.

Para realização dos trabalhos empregando a própria bomba submersa instalada no poço, foi necessário adicionar na parte superior do tubo de revestimento, um ponto para a reentrada da água. Isto foi conseguido através da abertura de um orifício no revestimento (acima do nível do terreno) e soldagem de um tubo (conexão hidráulica) para viabilizar o sistema de circulação, com uma conexão para adicionar os agentes químicos no poço e retirada de água para amostragem.

Durante a aplicação dos produtos, com o conjunto de circulação descrito acima, a expansão do CO₂ gerado nas reações químicas de dissolução dos Carbonatos cria uma pressão diferencial na água do poço, forçando a elevação do nível d’água e empurrando os agentes químicos para dentro da Formação geológica. Para aumentar a infiltração do produto na formação, falhas e fraturas, foi utilizado ainda o recurso de aumento da carga hidráulica do poço através da adição de água com os agentes desincrustantes.

No segundo método empregado em alguns dos poços, foi retirada a bomba submersa e instalado um sistema de “air-lift”, sendo isto necessário devido a diferentes condições de posicionamento dos conjuntos bombeadores nos poços, que nestes casos não permitiria uma perfeita distribuição homogênea dos agentes químicos. Este método agrega uma ação mecânica ao processo de dissolução química das incrustações, o que força a penetração dos agentes químicos na formação geológica.

Os poços foram testados, quanto à vazão, antes e depois das operações, em etapas de vazão máxima, recuperação de níveis e escalonados com 80, 60 e 40% da vazão máxima, dependendo da condição de cada poço e do tempo disponível para os operações. Os dados obtidos foram interpretados e são apresentados no trabalho.

Em todos os casos foram colhidas, após os trabalhos, amostras de água para análise, e em alguns casos antes e depois das operações.

Previamente foi calculado o volume dos reagentes a serem aplicados em cada poço. Utilizou-se, para isto, o volume estático dos poços. A concentração atribuída como base foi de 2% em

volume (para a toda a operação). Durante a realização dos trabalhos, em campo, o volume de agentes estimado mostrou-se satisfatório para conseguir um máximo de desincrustação.

Com o sistema de circulação montado, adicionou-se aproximadamente 1/3 do volume de reagente calculado, até se obter o pH desejado, em torno de 2. Então, o pH da solução em circulação foi controlado com a adição dos reagentes, já que a dissolução dos Carbonatos resulta em elevação do pH e consumo dos produtos adicionados, e desta forma, são controladas a velocidade das reações e a necessidade ou não de adição de mais reagentes.

Após a homogeneização do fluido, é adicionado ao poço uma solução de água e reagente e, também, somente água, com o intuito de aumentar a carga hidráulica e causar uma maior penetração dos produtos na formação geológica.

Durante o processo de circulação, são realizadas manobras alternadas de circulação /descarte /adição de fluidos compostos por Orto-fosfatos ácidos líquidos dissolvidos em água, pelo tempo necessário para se obter uma completa desincrustação no poço e atuar na formação geológica ao redor do poço.

Este processo de circulação inicial tem uma duração média de 4 horas. Após este período o poço permanece em repouso por um intervalo entre 6 e 12 horas; ao término do qual é realizada uma etapa com 2 horas de circulação.

É aplicado em conjunto com os produtos desincrustantes um agente bactericida de alta eficiência que além de sua atuação sobre as bactérias existentes no poço, funciona como catalisador das reações de dissolução dos Carbonatos.

A fase final do processo consiste no descarte da solução usada na circulação, que agora se apresenta enriquecida em cálcio e outros elementos dissolvidos. Esta etapa varia de 2 a 6 horas, sendo determinado seu término quando o pH retorna aos valores anteriores à aplicação dos produtos. A duração desta etapa varia de acordo com a vazão do poço que, dependendo da sua magnitude, descarta com maior ou menor velocidade o fluido resultante do processo.

Como etapa conclusiva, os poços são novamente testados nos padrões anteriores aos trabalhos de circulação, e são colhidas amostras de água para análise do resultado final.

EFEITOS NA QUALIDADE DAS ÁGUAS

Os Poli-fosfatos vêm sendo usados há vários anos nos Estados Unidos e diversos países europeus, além de já estar em uso em muitas cidades brasileiras de Minas Gerais, Paraná, Santa Catarina, São Paulo, etc., a partir de 1995/1996, em Estações de Tratamento de Água (águas superficiais), para melhorar cor e turbidez, controlar processos de corrosão e desincrustar redes de distribuição de água.

COIMBRA *et al.* (1999), aplicaram Poli-fosfato na ETA de Brasília e observaram uma melhoria significativa na qualidade da água distribuída. Comparando-se os dados obtidos antes e após a aplicação do produto em cada ponto da rede de amostragem da cidade, observaram uma melhoria significativa no parâmetro turbidez da ordem de 60% (dado médio) atingindo-se até 72% de redução nesse parâmetro. A Cor da água por sua vez, foi reduzida em média em 40%, com redução máxima observada de 57%. O parâmetro Ferro Total também foi acompanhado, tendo-se verificado uma redução média de cerca de 40% e máxima de 64%. Os autores também observaram efeitos positivos na desincrustação de carbonatos na rede de distribuição da cidade.

Nas águas subterrâneas as técnicas modernas de desincrustação referem-se ao uso de Orto-fosfatos, com características ácidas, cuja velocidade de solubilização de íons metálicos em pH baixo é muito mais rápida e efetiva do que os Poli-fosfatos, aproveitando a acidez para manter os metais solúveis que possibilitam a sua remoção nos poços e na formação geológica. DOMENICO & SCHWARTZ (1998) citam que os metais são muito mais móveis nas águas subterrâneas com pH baixo. A diferença entre os Orto-fosfatos e Poli-fosfatos se refere no comprimento da cadeia de Fosfatos. Os Orto-fosfatos são cadeias mais curtas na classe dos PO_4 . Os Poli-fosfatos por sua vez tem cadeias mais longas e são mais instáveis a variações abruptas de pH atuando melhor em condições de pH neutro, ou próximo deste, onde tem capacidade de solubilizar e complexar metais, mantendo estes solúveis e criar uma condição de desincrustação lenta e de não corrosão.

Nos Poli-fosfatos a formação de uma película protetora a nível molecular sobre as superfícies metálicas evitam a corrosão.

Geralmente, nos poços do Município de Capivari, a solução descartada ao final dos trabalhos apresentou-se com tons esbranquiçados causados pela forte presença de Fosfato de Cálcio dissolvido. Ocorrem soluções descartadas com tons amarronzados que indicam a presença de Óxidos de Ferro e de Manganês dissolvidos.

POÇOS ENSAIADOS

A seguir são relacionados os poços onde foram aplicados Orto-fosfatos ácidos líquidos que provocam a dissolução química das incrustações por Carbonato de Cálcio e de outros metais que estavam presentes nos poços e na área de influência dos mesmos, na formação geológica (dentro dos poros dos sedimentos e nas fraturas abertas). Os resultados obtidos sobre mudanças dos níveis d'água e das vazões explotadas, em cada poço, são mostrados na Tabela 1. Os resultados obtidos quanto à diminuição do consumo de energia elétrica são mostrados na Tabela 2.

O mapa com a localização dos poços encontra-se na Figura 2.

Poço: **Cancian I** do SAAE de Capivari.

Localização: 7452,45 Km N e 244,90 Km E.

Altitude na boca: 515 m.

Profundidade do poço: 200 m.

Bomba submersa: instalada a 150 m.

Data da execução dos serviços de desincrustação: 13/11/2001.

Sistema de circulação: utilizando a própria bomba submersa instalada no poço.

Poço: **Cancian II** do SAAE de Capivari.

Localização: 7451,63 Km N e 244,52 Km E.

Altitude na boca: 540 m.

Profundidade do poço: 300 m.

Bomba submersa (10 HP): instalada a 174 m.

Data da execução dos serviços de desincrustação: 12/11/2001.

Sistema de circulação: utilizando a própria bomba submersa instalada no poço.

Poço: **Cancian III** do SAAE de Capivari.

Localização: 7452,23 Km N e 244,59 Km E.

Altitude na boca: 545 m.

Profundidade do poço: 250 m.

Bomba submersa (14 HP): instalada a 142 m.

Data da execução dos serviços de desincrustação: 20/11/2001.

Sistema de circulação: utilizando a própria bomba submersa instalada no poço.

Poço: **Batistella II** do SAAE de Capivari.

Localização: 7457,81 Km N e 242,79 Km E.

Altitude na boca: 560 m.

Profundidade do poço: 270 m.

Bomba submersa (12,5 HP): instalada a 162 m.

Data da execução dos serviços de desincrustação: 28/03/2002.

Sistema de circulação: utilizando a própria bomba submersa instalada no poço.

Poço: **Moreno** (Porto Alegre) do SAAE de Capivari.

Localização: 7454,45 Km N e 241,09 Km E.

Altitude na boca: 520 m.

Profundidade do poço: 258 m.

Bomba submersa (25 HP): instalada a 162 m.

Data da execução dos serviços de desincrustação: 22/11/2001.

Sistema de circulação: com compressor – sistema “air-lift”.

Poço: **Sgaribaldi-II** do SAAE de Capivari.

Localização: 7451,85 Km N e 242,61 Km E.

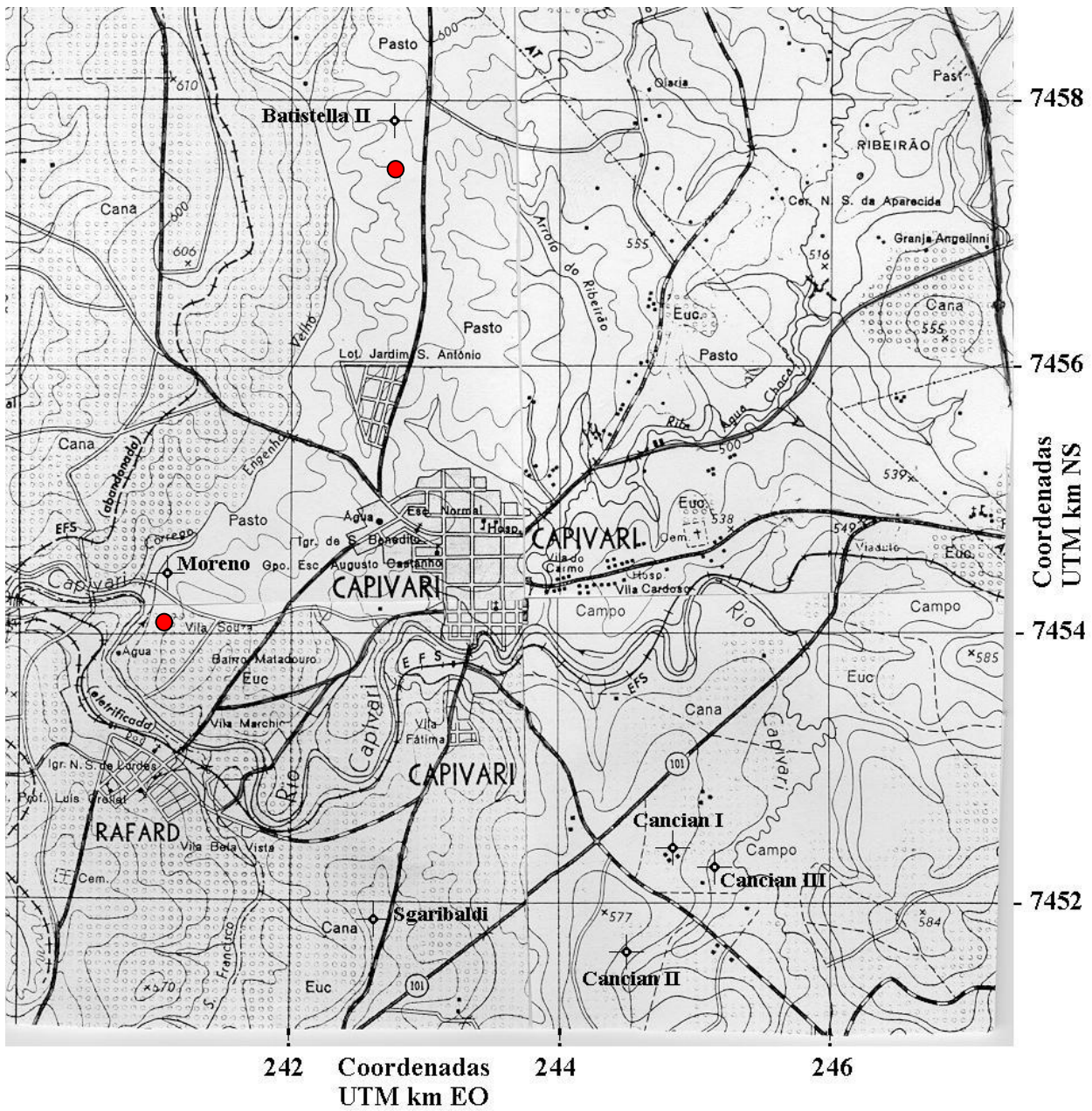
Altitude na boca: 570 m.

Profundidade do poço: 300 m.

Bomba submersa (16 HP): instalada a 162 m.

Data da execução dos serviços de desincrustação: 62/02/2002.

Sistema de circulação: utilizando a própria bomba submersa instalada no poço.



LEGENDA
 ◆ - Localização do poço

FIGURA 2. Mapa de localização dos poços ensaiados no Município de Capivari, Estado de São Paulo (IBGE, 1970a, 1970b, 1970c, 1973).

Tabela 1. Resultados obtidos com as operações de desincrustação de poços.

Poço	Situação	Nível estático(m)	Nível dinâmico(m)	Vazão (m ³ /h)	Observações
Cancian I	Antes da operação	25,30	150,00	10,7	Aumento de vazão: 22,42%
	Após a operação	24,80	149,00	13,1	
Cancian II	Antes da operação	55,90	149,30	4,38	Aumento de vazão: 84,93%
	Após a operação	50,86	148,10	8,10	
Cancian III	Antes da operação	31,00	142,00	6,10	Aumento de vazão: 22,78%
	Após a operação	31,00	141,00	7,90	
Moreno	Antes da operação	132,60	143,60	11,31	Aumento de vazão: 90,01%
	Após a operação	132,60	143,60	25,50	
SgaribaldiIII	Antes da operação	125,40	149,15	13,30	Aumento de vazão: 53,90%
	Após a operação	125,40	149,15	20,48	
Batistella II	Antes da operação	77,10	160,39	3,60	Aumento de vazão: 139%
	Após a operação	75,05	156,00	8,63	

Tabela 2. Resultados obtidos quanto ao consumo de energia elétrica do equipamento de bombeamento.

Poço	Situação	Consumo em KW para extrair 100 m ³ /água	Consumo em KW/m ³ de água extraída	Redução de energia
Cancian I	Antes da operação	92,93	0,9293	18,30%
	Após a operação	75,91	0,7591	
Cancian II	Antes da operação	127,16	1,27	30,81%
	Após a operação	87,98	0,87	
Cancian III	Antes da operação	92,76	0,9276	22,82%
	Após a operação	71,59	0,7159	
Moreno	Antes da operação	197,04	1,97	57,38%
	Após a operação	83,97	0,83	
SgaribaldiIII	Antes da operação	162,10	1,62	54,90%
	Após a operação	89,60	0,89	
Batistella II	Antes da operação	578	5,78	75,00%
	Após a operação	142	1,42	

No local do Poço Batistella II do SAAE de Capivari, o Aquífero Tubarão é do tipo semi-confinado, com r/B (fator de gotejamento da camada semi-confinante) igual a 0,15 e Transmissividade igual a 0,017 m²/h. Com estas características, verifica-se que a camada semi-confinante, situada sobre a camada aquífera, é suficientemente permeável e porosa para manter o abastecimento desta, para faixas de vazões baixas, da ordem de até 3 m³/h. A Transmissividade calculada com base em teste de vazão antes da aplicação dos produtos (Figura 3) mostra um aquífero muito pouco permeável (pobre).

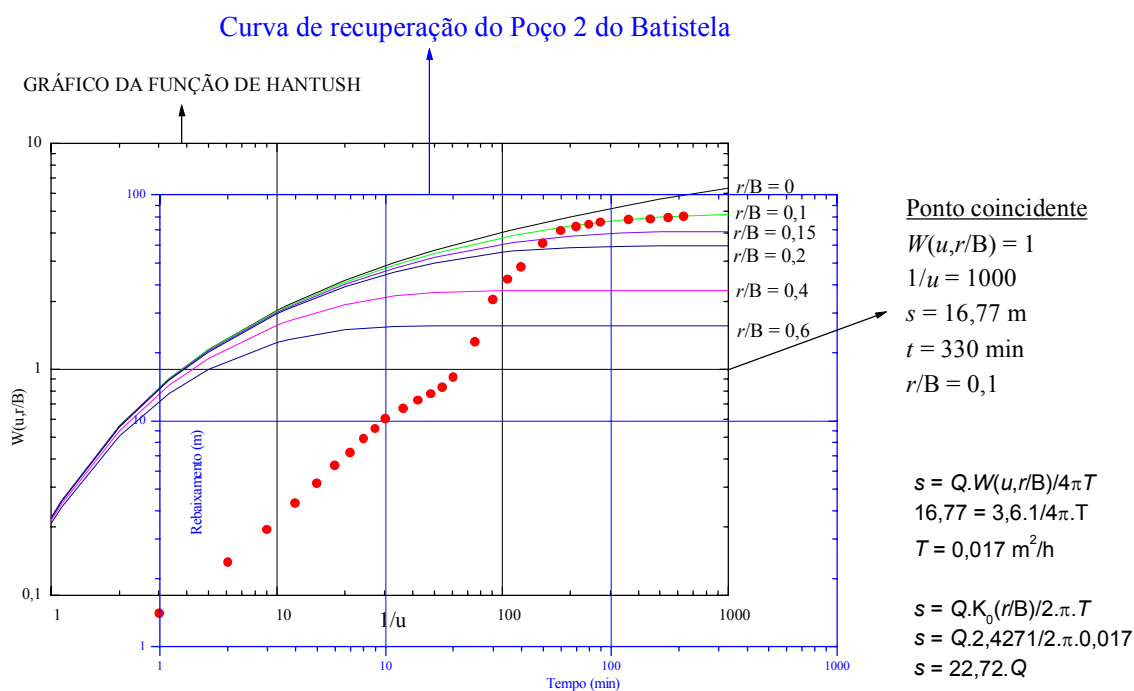


FIGURA 3. Cálculo da Transmissividade do Aquífero Tubarão no local do poço Batistella II, antes da aplicação dos produtos, utilizando o método da superposição de HANTUSH (1956).

RESULTADOS

Após a aplicação dos produtos no Poço Batistella II, o Aquífero Tubarão, ao redor do poço mostrou melhoras na Transmissividade (Figura 4) continuando a se apresentar como do tipo semi-confinado, com r/B (fator de gotejamento da camada semi-confinante) igual a 0,1 e Transmissividade igual a 0,04 m²/h. Com estas características, verifica-se que a camada semi-confinante, situada sobre a camada aquífera, é suficientemente permeável e porosa para manter o abastecimento desta, para faixas de vazões baixas, da ordem de até 8 m³/h.

O incremento das vazões obtidas nos poços tubulares profundos do Município de Capivari através dos procedimentos de desincrustação utilizando Orto-fosfatos são mostrados na Figura 5. A economia em energia elétrica é mostrada na Figura 6.

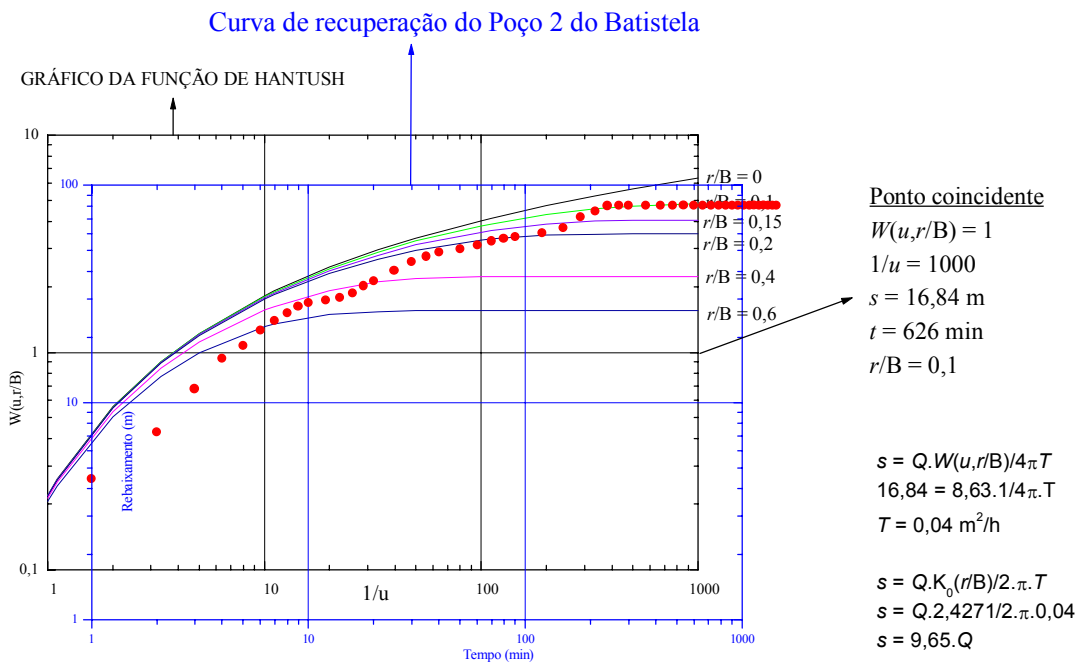


FIGURA 4. Cálculo da Transmissividade do Aquífero Tubarão no local do poço Batistella II, após a aplicação dos produtos, utilizando o método da superposição de HANTUSH (1956).

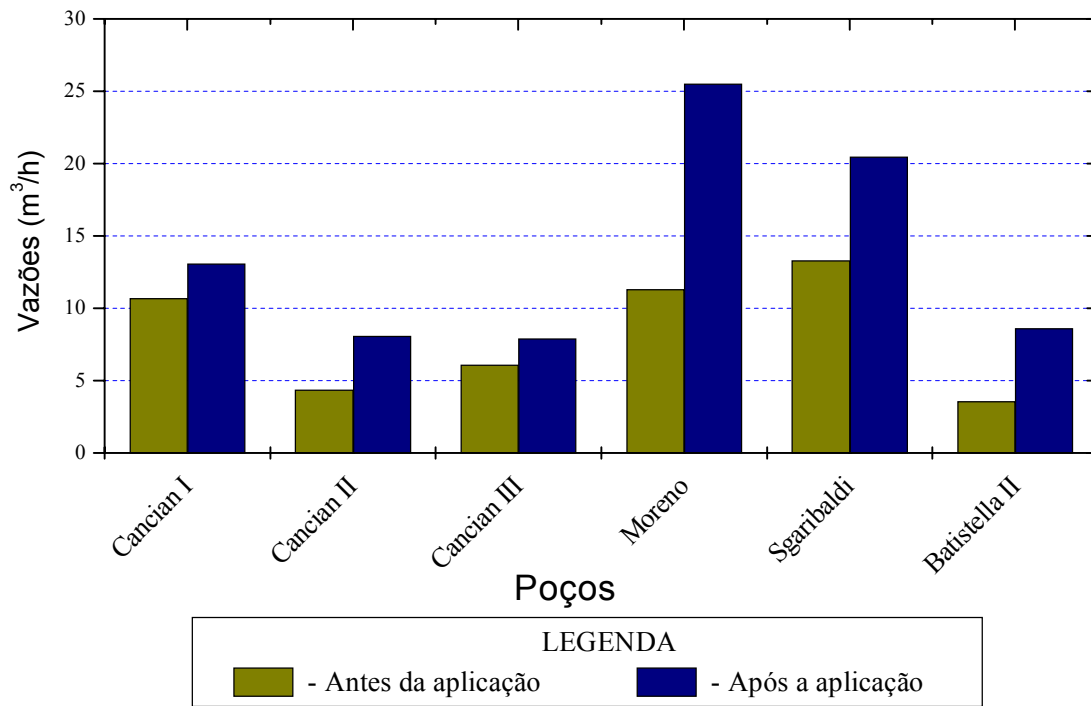


FIGURA 5. Incremento das vazões nos poços do Município de Capivari.

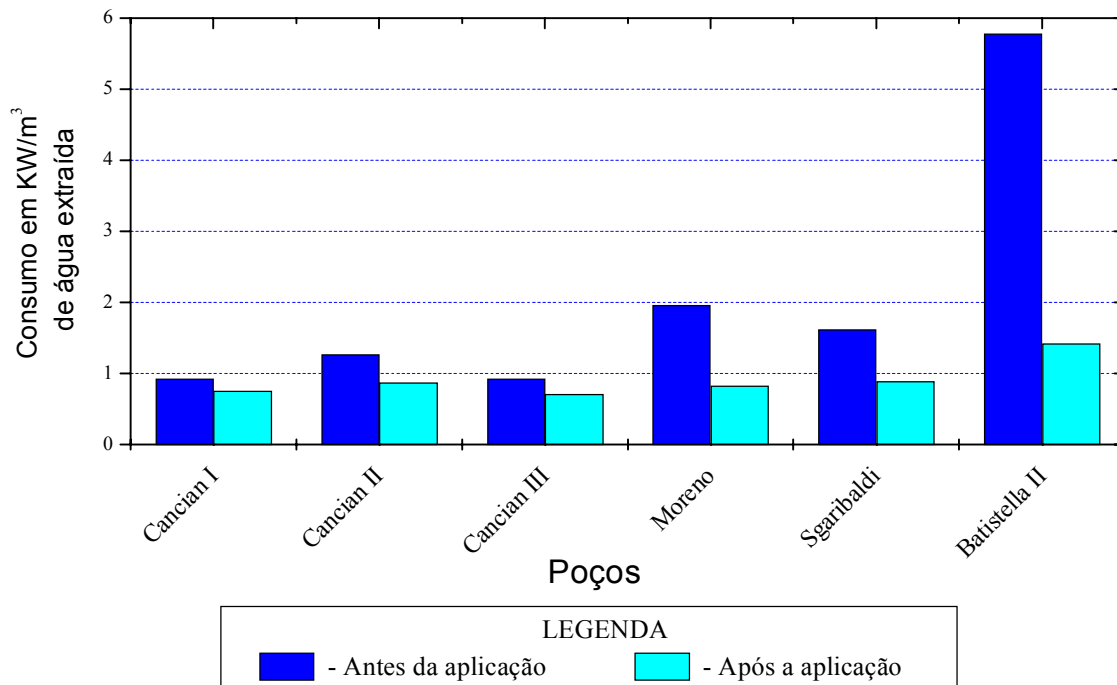


FIGURA 6. Redução no consumo de energia elétrica nos poços do Município de Capivari.

Quanto à classificação hidroquímica, antes dos trabalhos de desincrustação, as águas subterrâneas que apresentavam um total de 261 ppm de sólidos totais dissolvidos eram classificadas como bicarbonatadas cálcio-sódicas e, dois dias após a aplicação dos produtos, apresentaram um total de 341 ppm de STD, sendo classificadas como bicarbonatadas cálcicas, conforme pode ser visto no diagrama de Piper da Figura 7.

O Índice de Saturação de Langelier (ISL) é um modelo de equilíbrio proporciona um indicador do grau de saturação da água em relação ao Carbonato de Cálcio. Quando o ISL é negativo, a água dissolve o CaCO_3 , se for positivo, precipita e, quando se aproxima de zero não há deposição ou dissolução. Mudanças devidas à temperatura ou decorrentes da evaporação, podem mudar este índice.

O ISL é calculado pela expressão: $\text{ISL} = \text{pH} - \text{pH}_s$, onde pH_s é o PH de saturação em calcita, do CaCO_3 .

O pH_s é calculado pela expressão: $\text{pH}_s = (9,3 + A + B) - (C + D)$

onde

$$A = (\log_{10}[\text{STD}] - 1)/10$$

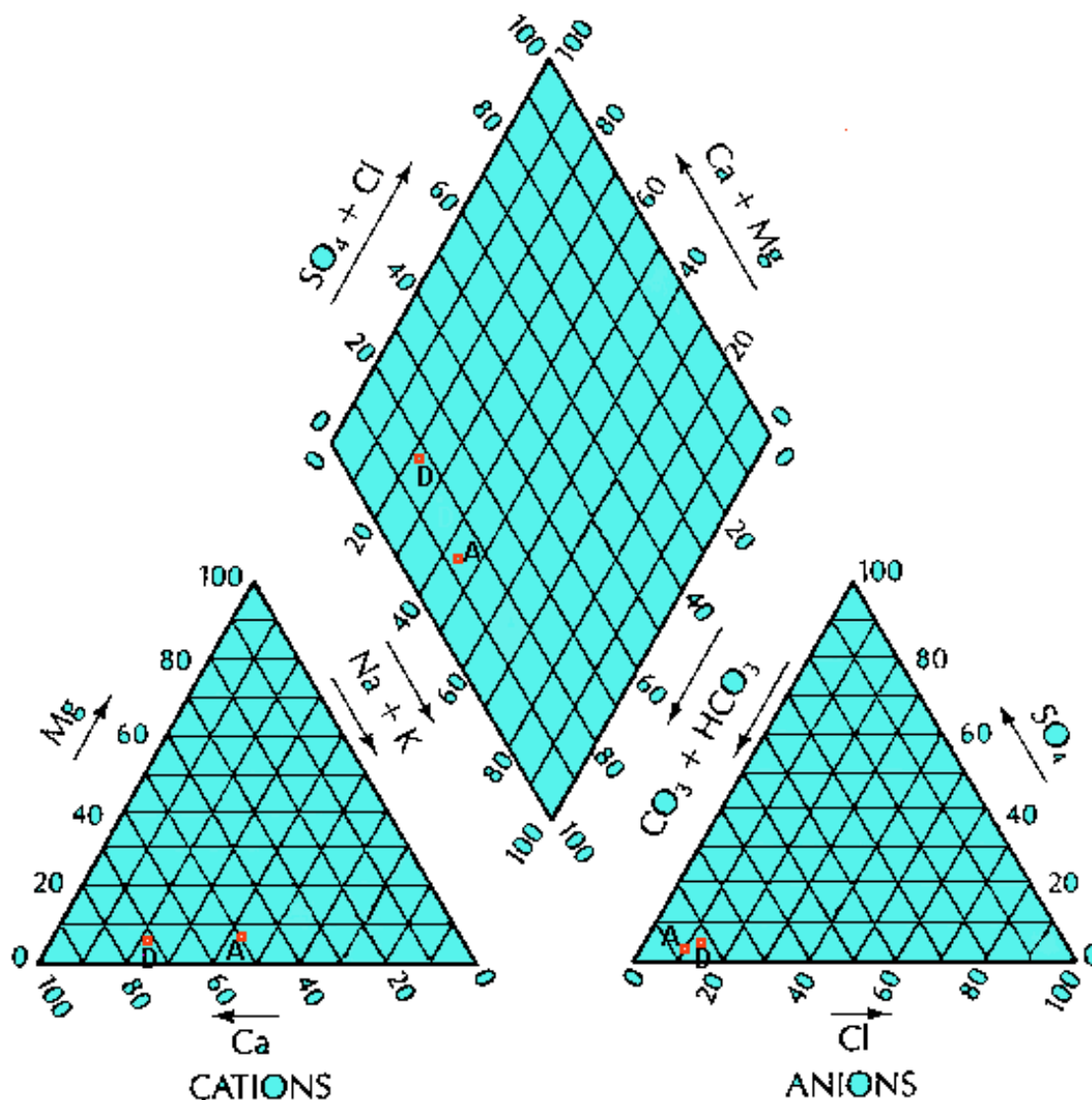
$$B = - 13,12 \times \log_{10}(^{\circ}\text{C} + 273) + 34,55$$

$$C = \log_{10}[\text{Ca}^{++} \text{ como } \text{CaCO}_3] - 0,4$$

$$D = \log_{10} [\text{alcalinidade como } \text{CaCO}_3]$$

Quanto às características de incrustação das águas subterrâneas do poço Batistella II, referentes ao Carbonato de Cálcio, encontrou-se os seguintes parâmetros:

- a) antes da aplicação: $\text{pH} = 7,6$; $\text{STD} = 260$; $\text{Ca}^{++} = 28,5$ ppm; alcalinidade em $\text{HCO}_3^- = 149$ ppm;
- b) após a aplicação: $\text{pH} = 7,35$; $\text{STD} = 341$; $\text{Ca}^{++} = 60$ ppm; alcalinidade em $\text{HCO}_3^- = 208$ ppm.



LEGENDA

- A – antes da aplicação do agente químico
- D – depois da aplicação do agente químico

Figura 7. Diagrama de Piper do poço Batistella II.

Com estes parâmetros, o pH_s calculado para 25 °C é: antes da aplicação igual a 8,31 e, após, igual a 7,85. Para 82 °C, o pH_s calculado é: antes da aplicação igual a 7,31 e, após, igual a 6,85. Os valores obtidos após a aplicação dos produtos indicam um menor poder incrustante para o $CaCO_3$.

Na Figura 8 é mostrada a foto do dispositivo montado para a circulação dos produtos desincrustantes no poço Batistella II. Na Figura 9 é mostrada a solução de descarte do poço Batistella II.



Figura 8. Dispositivo utilizado para circulação do fluido no poço Batistella II.

CONCLUSÕES

O processo de reabilitação de vazões através da desincrustação com a utilização de Ortofosfatos de características ácidas, demonstrou grande eficiência, com pequeno tempo de operação nos poços.

Os resultados de recuperação de vazão variaram entre 22,42% e 139%, com uma média de 57,36%.

Estudo de redução do consumo de energia elétrica, realizado nos poços, mostrou variações entre 18,30 a 75,0 % com uma média de 43,20% de redução.



Figura 9. Solução descartada após a circulação, de cor amarronzada devido à presença de Carbonatos de Cálcio, Ferro e Manganês dissolvidos.

Foi observado durante os descartes, que o pH se manteve baixo, mesmo após ter sido descartada uma quantidade de água igual a 10 vezes o volume estático dos poços. Isto indica o aprofundamento dos agentes desincrustantes na formação geológica.

O aprofundamento dos agentes desincrustantes na formação exige a utilização de produtos atóxicos e isentos de metais pesados, que impedem que sejam geradas contaminações no aquífero.

A multiplicação do tempo de paralisação do poço × possibilidade de aumento na produção de água × preço de venda, mostra algumas vantagens financeiras nas operações com a própria bomba instalada no poço, sendo que em casos onde foi notada muitas incrustações nos tubos de descarga ou outros problemas (como bombas excessivamente desgastadas) optou-se pela utilização do sistema “air-lift”.

BIBLIOGRAFIA

- COIMBRA, M.C.M ; BAILÃO, T.W.S ; BARBOSA, A.B.D.; MENDES, M.J.; CAMELO, A.S. 1999. Análise do custo x benefício do uso de Orto-Polifosfatos no combate à água vermelha e na desincrustação das redes de distribuição. CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 20, Rio de Janeiro, 1999, Trabalho II-. *Anais...* Rio de Janeiro, ABES, p.1330-1336.
- DINIZ, H.N.; LAZARIN, A.J.M.; PIZZOL, V.L.; PEREIRA, S.Y. 2000. A recuperação das vazões de poços tubulares profundos utilizando ácido cítrico na cidade de Tietê, SP. *PUC – SP Ciências Biológicas e do Ambiente*, maio/agosto 2000, São Paulo, 2(2):155 – 173.
- DINIZ, H.N. 1990. *Estudo hidrogeológico do Subgrupo Itararé no Médio Rio Tietê, Município de Tietê, SP*. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências da USP, São Paulo, 118p.
- DOMENICO, P.^a; SCHWARTZ, F.W. 1998. *Physical and Chemical hydrogeology*. 2^a Ed., John Wiley & Sons, Nova York, 506 p.
- FULFARO, V.J. 1989. Litoestratigrafia da passagem glacial/pós-glacial no Estado de São Paulo. SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO SUDESTE, 1, Rio de Janeiro, 1989. *Atas...* Rio de Janeiro, SBG, p.210-211.
- GAMA JR., E.G.; CAETANO, M.R.; WEYLER, G. 1980. Divisão faciológica do Grupo Itararé no centro leste do Estado de São Paulo. CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 31. Balneário de Camboriú, 1980. *Boletim de Resumos...*, Florianópolis, SBG, v.2, p.365-366.
- GORDON, M. 1947. *Classificação das formações gondwanicas do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul*. Notas preliminares e Estudos, Boletim 38, DNPM/Div.Geol.Min., Rio de Janeiro, 20p.
- HANTUSH, M.S. 1956. Analysis of data from pumping tests in leaky aquifers. *Am. Geophys. Union Transactions*, Washington, **37**:702-714.
- IBGE. 1970a. Folha topográfica de Porto Feliz, SF-23-X-C-I-2. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Departamento de Cartografia, Carta do Brasil, escala 1:50.000, Rio de Janeiro, 1 mapa.
- IBGE. 1970b. Folha topográfica de Americana, SF-23-Y-A-V-3. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Departamento de Cartografia, Carta do Brasil, escala 1:50.000, Rio de Janeiro, 1 mapa.
- IBGE. 1970c. Folha topográfica de Capivari, SF-23-Y-A-IV-4. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Departamento de Cartografia, Carta do Brasil, escala 1:50.000, Rio de Janeiro, 1 mapa.

- IBGE. 1973. Folha topográfica de Salto, SF-23-Y-B-I-1. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Departamento de Cartografia, Carta do Brasil, escala 1:50.000, Rio de Janeiro, 1 mapa.
- PETRI, S. 1992. Litofácies e significado paleoambiental dos sedimentos Itararé na região Capivari-Rafard, Estado de São Paulo. *Revista do Instituto Geológico*, IG/SMA, São Paulo, 13(1): 7-30.
- PETRI, S.; PIRES, F.A.P. 1992. O Subgrupo Itararé (Permiano-Carbonífero) na região do Médio Tietê, Estado de São Paulo. *Revista Brasileira de Geociências*, IG/USP, São Paulo, 22(3): 301-310.
- PETRI, S.; MENDONÇA, C.A.; BOLOGNA, M.S.; COUTINHO, J.M.V.; VIEIRA, P.C.; BOTELHO, P.F. 1996. Correlação estratigráfica de poço para captação de água subterrânea na região Capivari-Rafard/SP: descrições litológicas macroscópicas, microscópicas e perfis geofísicos. *Revista Brasileira de Geociências*, IG/USP, São Paulo, 26(1): 25-34.
- SEADE. 1999. Informações dos municípios paulistas. Site da Fundação Sistema Estadual de Análise de Dados, SEADE, <http://www.seade.sp.gov.br/>.