

# A RECUPERAÇÃO DO POÇO 15 - SABESP – FERNANDÓPOLIS – SP, COM 1.460 M DE PROFUNDIDADE, COM ORTOFOSFATOS ÁCIDOS.

José Paulo Godoi Martins Netto<sup>1</sup>; Nilton Gomes de Moraes<sup>2</sup>; Fernando Wili Bastos Franco Filho<sup>2</sup>;  
César Bianchi Neto<sup>2</sup>

## RESUMO

A utilização de água subterrânea tem grande importância em todo o sistema de abastecimento de água efetuado pela SABESP, compreendendo um total aproximado de 1.000 poços em operação, e um percentual de 77% do número de mananciais explorados pela Diretoria de Sistemas Regionais.

Como os demais componentes do sistema de captação e distribuição de água, os poços também requerem manutenções, que são efetuadas muitas vezes de forma corretiva, e não preventiva. A SABESP, preocupada em preservar os poços existentes e o meio ambiente, tem investido em processos de reabilitação de seus poços, com novos produtos e tecnologias, que tem proporcionado a recuperação de vazões perdidas, melhoria da qualidade de água e redução do consumo de energia elétrica.

O presente trabalho trata do processo de reabilitação do Poço SABESP - P15, com 1.460 m de profundidade, que explora o Aquífero Guarani, no Município de Fernandópolis – SP. Este poço data de 1976, com início da exploração em 1978, e foi o primeiro Poço de que se têm notícias, com profundidade superior a 1.000 m, para exploração de água no Estado de São Paulo.

Para desincrustação dos carbonatos na zona de produção do poço foi utilizado o agente NO RUST, isento de metais pesados, certificado como não tóxico, patenteado, e criado especificamente para poços, que se mostrou adequado e eficiente, proporcionando a total recuperação da vazão do poço, em substituição ao ácido muriático (clorídrico hidratado) utilizado no passado, que pode conter expressivas contaminações, inclusive por metais pesados, agride os metais dos poços, e implica em severos riscos de manuseio, a saúde, e ao meio ambiente.

## ABSTRACT

The use of groundwater has great importance in the entire system supply of SABESP – SP, Brazil, with an approximate total of 1,000 water wells in operation, and a percentage of 77% of the number of sources exploited by the *Diretoria de Sistemas Regionais – Sabesp*.

As the other components of the system of collection and distribution of water, wells also require maintenance, which are often so corrective and not preventive. The SABESP, worried about preserving the existing wells and the environment, has invested in rehabilitation processes of their wells, with new products and technologies, which have provided pump rates recovery, improving the quality of water and reducing consumption of electric power.

**Palavras chaves:** Manutenção de Poços, Desincrustação Química, Ortofosfatos Ácidos, Carbonatos, Aquífero Guarani.

(1) Maxiagua Soluções em Água Ltda. – R. Açatunga, 154, SP - SP – Fone: (11) 5096-5888 – email: jp@maxiagua.com

(2) Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo – SABESP - Av. Do Estado, 561 – São Paulo – SP, Eng. Nilton 11-3388 7330 - nmoraes@sabesp.com.br; Geol. Fernando - 11-3388 7366 - ffranco@sabesp.com.br ; Geol. Cesar Bianchi 11 – 3388 7366 -

This work deals with the process of rehabilitation of the well *SABESP-P15*, with 1,460 m depth, which explores the *Guarani* Aquifer, in the City of *Fernandópolis – SP*. This well was drilled in 1976, and was the first well that they had news about, with depth of 1,000 m, to explore groundwater in the State of São Paulo.

For chemical disinfection of carbonates they used used the agent NO RUST free of heavy metals, certified non-toxic, patented, and created specifically for waterwells, who was appropriate and efficient, providing full recovery flow well, replacing hydrated hydrochloric acid or others acids, used in the past, which can contain expressive contamination, including heavy metals, attacking the metals of wells, and implies severe risks of handling, health and the environment.

## 1. INTRODUÇÃO

A água subterrânea é uma fonte bastante confiável de abastecimento de água, e no Brasil é largamente utilizada, onde se estima que existam pelo menos 400.000 poços em operação. Dados do IBGE indicam que 15,6 % dos domicílios utilizam exclusivamente água subterrânea.

Na SABESP os poços em operação se aproximam de 1.000, com uma produção de 12.667.000 m<sup>3</sup>/mês, perfazendo um total de 21% da água produzida (Fig. 01) e abastecendo 377 comunidades, que representam 55 % do total de comunidades abastecidas pela Diretoria de Sistemas Regionais (Fig. 02). (2004)

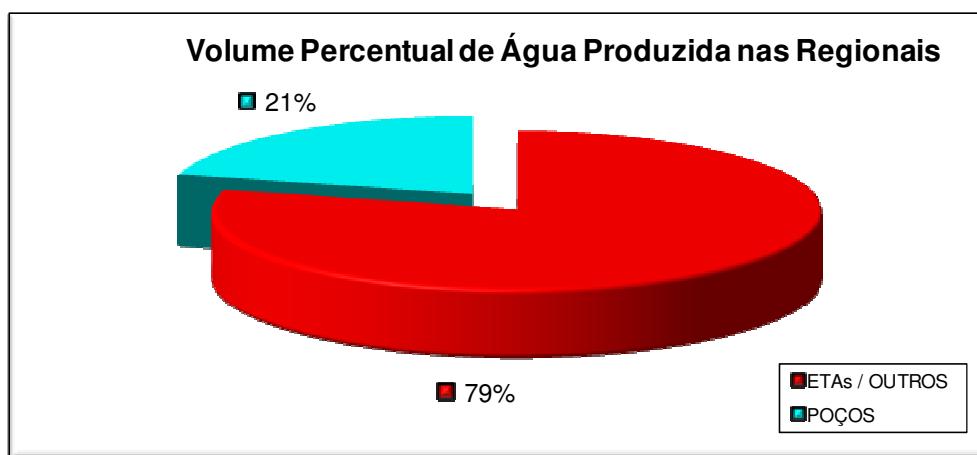


Figura 1. Volume % de água produzida pelos poços, na Diretoria de Sistemas Regionais SABESP.

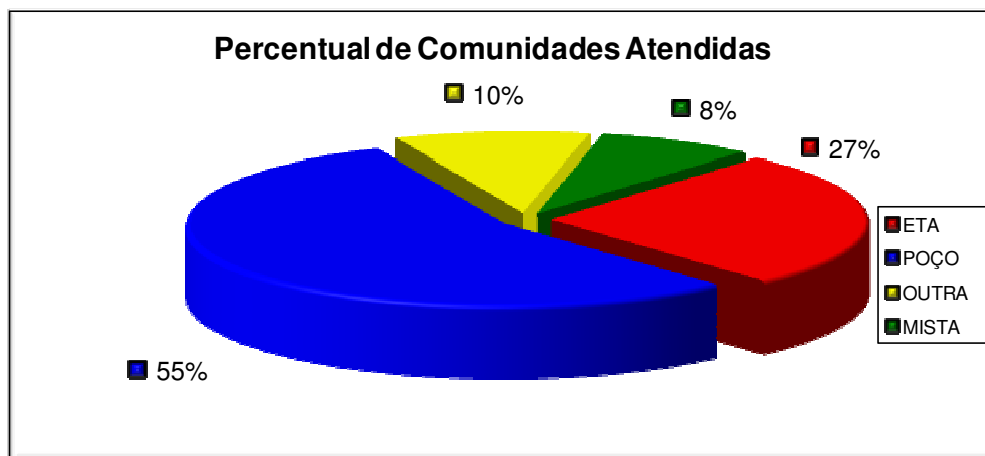


Figura 2. Percentual de comunidades atendidas por poços, na Diretoria de Sistemas Regionais SABESP.

Atualmente o Município de Fernandópolis é 100 % abastecido por água subterrânea, proveniente de 04 poços que exploram o aquífero Guarani, sendo eles: P1 (P15) com vazão de 200,00 m<sup>3</sup>/h; P2(P16) = 230,00 m<sup>3</sup>/h; P3 (P17) = 380,00 m<sup>3</sup>/h e P4 (P18) = 200,00 m<sup>3</sup>/h. O regime de exploração dos poços é de 16 h/dia, visando à preservação do aquífero.

O P1 (P15) sofreu forte agravamento na redução de vazão a partir de 2007, sendo que já em Agosto deste ano a vazão havia caído para 102,00 m<sup>3</sup>/h com ND de 69,90 m. O problema continuou se agravando e culminou com a paralisação do poço em 2008, com vazão de 18,00 m<sup>3</sup>/h com ND 69,90 (crivo da bomba), que resulta em uma capacidade específica de 0,50 m<sup>3</sup>/h/m, aproximadamente 16 vezes menor do que a vazão de teste do poço.

A capacidade específica do poço no início da operação era de 8,01 m<sup>3</sup>/h/m. Em 1993, após uma intervenção corretiva no poço, foi novamente medida em 7,40 m<sup>3</sup>/h/m, em 2007 se encontrava reduzida para 2,75 m<sup>3</sup>/h/m. Após as operações detalhadas no presente trabalho, foi medida em 8,92 m<sup>3</sup>/h/m, com um ganho de 323% em relação a 2007 e pode-se dizer que igual a capacidade específica original do poço, que comprova a eficiência da metodologia empregada, e mais uma vez, a viabilidade das operações de manutenção/reabilitação dos poços, que garantem um maior fornecimento de água para a população e permitem um maior faturamento, em um sistema que já tem todos os seus componentes instalados, e em operação.

Além do fornecimento de água potável, o poço P15 fornece ainda água quente para um Hotel e parque Termal, com diversas Piscinas aquecidas, aproveitamento esta energia geotérmica para incrementar o Turismo e Desenvolvimento Regional.

Devido às condições construtivas e a profundidade o processo de reabilitação do poço foi dividido em duas etapas principais:

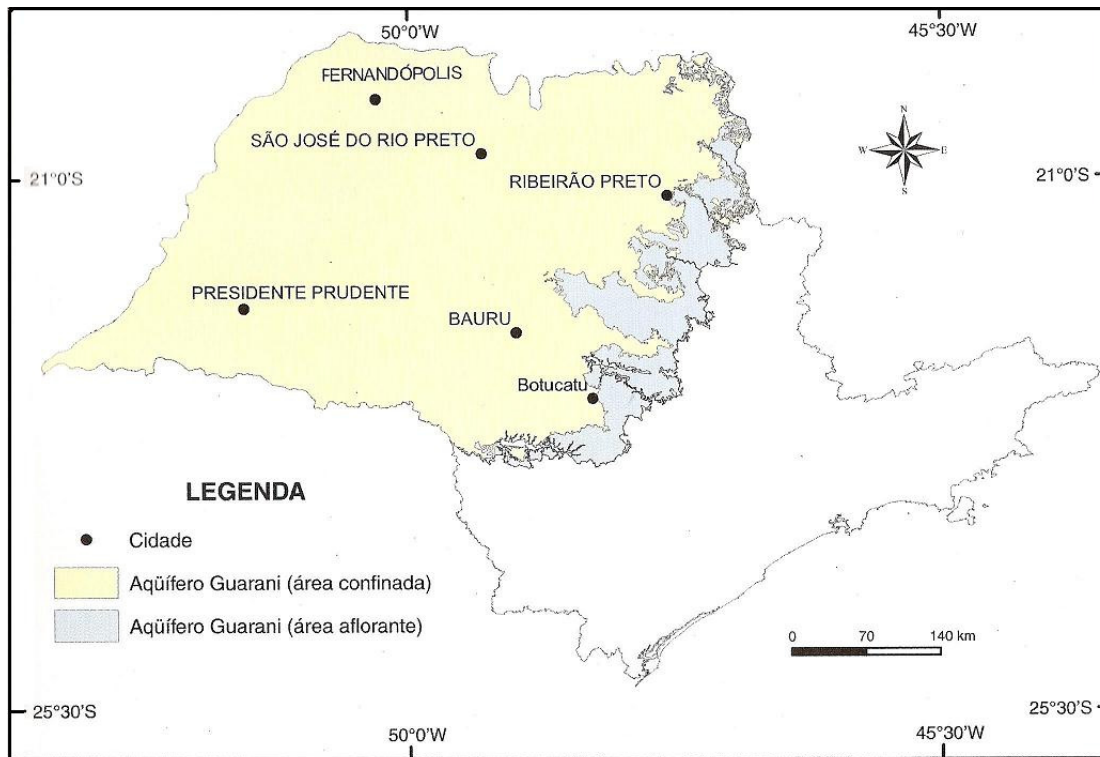
- a) Uma primeira, mecânica, com a utilização de uma sonda rotativa para corte de todo o material que se encontrava incrustado no furo do basalto (entre a superfície e 1.150 m de profundidade), para permitir acesso de ferramenta ao intervalo de produção do poço, reduzir perdas de carga e limpar eventuais fraturas do basalto;
- b) Uma segunda etapa, química e hidráulica com aplicação do desincrustante *No Rust*, no intervalo de produção do poço (entre 1.150 a 1.460 m), onde foram solubilizadas as incrustações nos tubos, filtros e na Formação Geológica, que após sua solubilização, foram removidas com a utilização de ar comprimido.

## **2. GEOLOGIA REGIONAL**

### **2.1 – AQUÍFERO GUARANI**

#### **2.1.1 – Caracterização Geral**

O aquífero Guarani ocorre na porção oeste do Estado de São Paulo, ocupando cerca de 76% do seu território. A leste está localizada a faixa aflorante (Figura 3), que se estende desde o município de Rifaina, a norte, até Fartura, ao sul. Esta faixa, com área de 16.000 Km<sup>2</sup>, está inserida na Depressão Periférica e apresenta largura irregular que se amplia ao longo das grandes drenagens, como é o caso do rio Jacaré-Pepira, quando atinge o máximo de 175 Km. Para oeste daquela faixa, o aquífero encontra-se confinado pelos basaltos de Formação Serra Geral, numa extensão de cerca de 174.000 Km<sup>2</sup>.









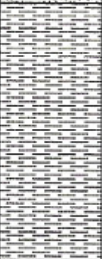
**Figura 3 - Faixa Aflorante do Guarani no Estado de São Paulo**

Este aquífero é composto por arenitos das formações Pirambóia, na base, e Botucatu, no topo (Figura 4).

A Formação Pirambóia, de idade triássica (MILANI 2004), é constituída por arenitos de granulação média a fina, localmente grossos e conglomeráticos, depositados em ambiente fluvio-lacustrino e eólico (CAETANO-CHANG & WU 1992, MILANI et al. 1994). Apresenta estratificação de médio porte, cruzada, planar ou acanalada e estratificação plano-paralela, com lâminas ricas em argila ou silte. No Jurássico-Cretáceo, seguiu-se a deposição eólica da Formação Botucatu, constituída predominantemente por arenitos de granulação média a fina, avermelhados, com grãos de alta esfericidade e bem selecionados, exibindo estratificação cruzada de grande porte. Todo pacote está assentado, em discordância angular, sobre o Grupo Passa Dois e parte dele, a porção confinada, está recoberto pelos derrames basálticos da Formação Serra Geral, que apresenta intertraps de arenito (IPT 1981<sup>a</sup>).

O aquífero Guarani é granular, homogêneo e regionalmente livre na sua porção aflorante, a dominadamente confinado, constituindo um pacote contínuo desde sua área de afloramento, a leste, até o extremo oeste de São Paulo, onde extrapola os limites do Estado.

A superfície do topo, definida pelo contato com a Formação Serra geral, mergulha para sudoeste, apresentando altitudes de 800 m no limite da parte aflorante até 1.300 m abaixo do nível do mar na região de Presidente Prudente, junto ao rio Paraná (Figura 5). Os gradientes desta superfície são de 1,8 m/km ao longo do vale do rio Tietê, e de 3,8 m/km, pelo eixo próximo ao rio do Peixe até as imediações da cidade de Avaré.

PERFIL	ESTRATIGRAFIA	LITOLOGIA
	GRUPO BAURU	Arenito avermelhado, gran. fina, calcífero, friável siltoso, bandado para siltito argiloso na base.
	FORMAÇÃO SERRA GERAL	Basalto cinza, vesicular, amigdaloidal
	FORMAÇÃO BOTUCATU	Arenito castanho claro, granulação média a muito fina, grãos arredondados a bem selecionados, localmente calcífero e com intrusões de diabásio
	FORMAÇÃO PIRAMBOÍIA	Arenito cinza esverdeado, muito fino, siltoso, calcífero
	FORMAÇÃO SERRA GERAL	Diabásio
	FORMAÇÃO PIRAMBOÍIA	Arenito acinzentado muito fino a grosseiro, calcífero
	GRUPO PASSA DOIS	Folhelhos com intercalações de diamictitos e arenitos

Fonte: Petrobrás. Poço no município de Lins (LI-ST-1-SP 1960)

Figura 4 – Posição Estratigráfica do Aquífero Guarani (Fm. Botucatu e Pirambóia)

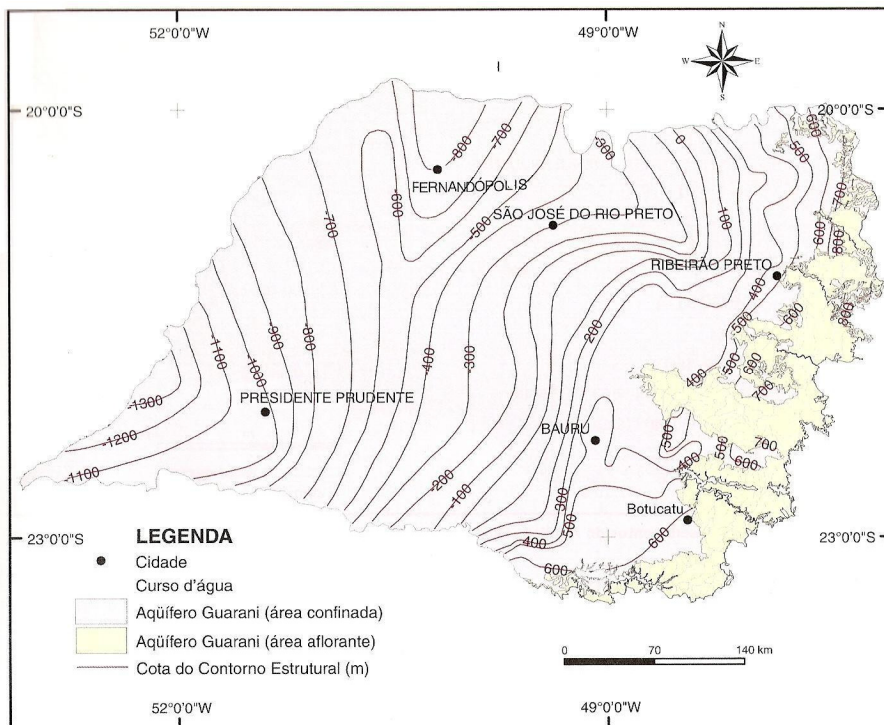
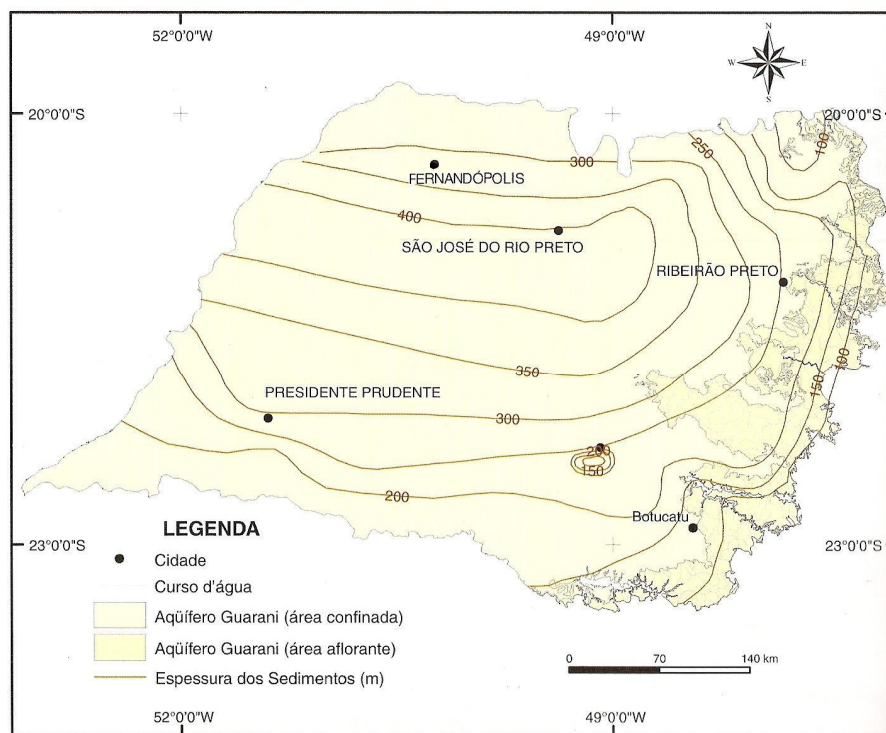


Figura 5 – Contorno Estrutural do Topo do Aquífero Guarani

A espessura do aquífero varia de aproximadamente 100 m na área aflorante, até mais de 400 m, a oeste, ao longo da calha do rio Tietê (Figura 6). (Mapa de Águas Subterrâneas de SP, 2005).



**Figura 6 – Espessuras dos Sedimentos do Aquífero Guarani**

### 2.1.2 – Potencialidade

O Estudo da potencialidade do Aquífero Guarani foi realizado com base em 111 poços selecionados (Mapa de Águas Subterrâneas de SP, 2005). Destes, 34 foram considerados representativos das principais características do aquífero, tais como nível potenciométrico, cota da superfície do topo, espessura e faixas de vazão.

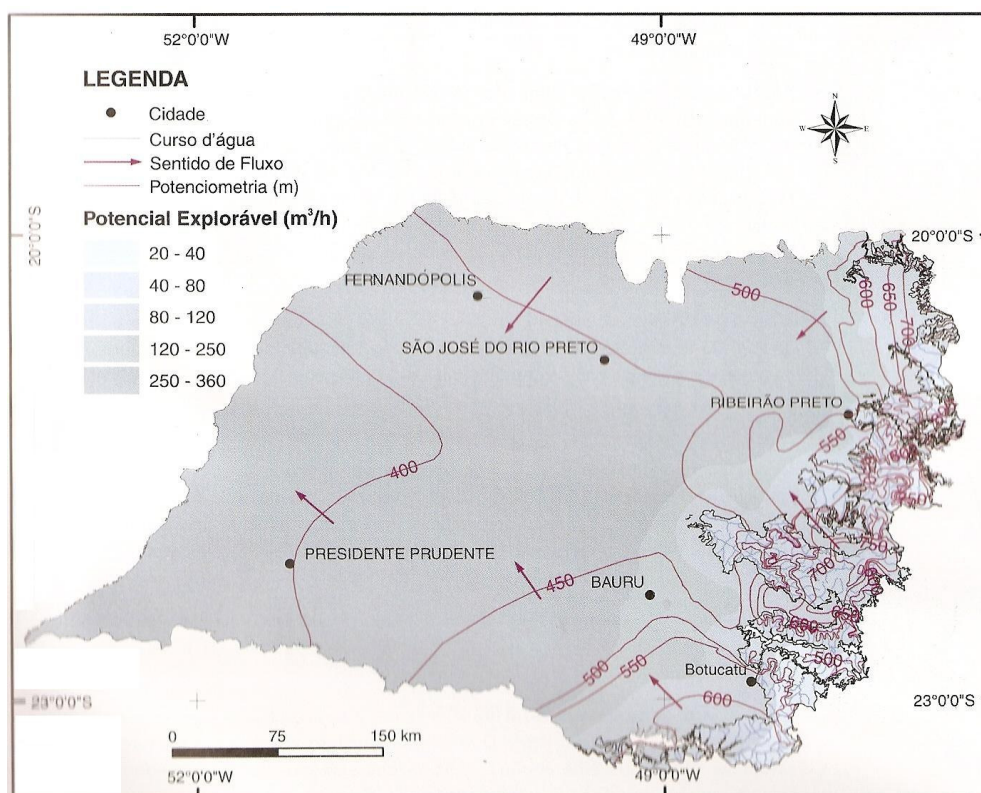
A superfície potenciométrica do aquífero Guarani apresenta a leste, na área aflorante, cotas de nível d'água da ordem de 800 m, que diminuem no sentido oeste e atingem valores de até 400 m de área confinada.

A geometria destes equipotenciais indica que o fluxo regional ocorre de leste para sudoeste (Figura 7). O gradiente hidráulico médio na porção confinada é de aproximadamente 0,001; enquanto na área aflorante ocorrem os maiores gradientes, como os observados ao longo dos eixos dos rios Pardo e Jacaré-Pepira, com valores de 0,008 e 0,003, respectivamente (Mapa de Águas Subterrâneas de SP, 2005).

No Mapa, encontram-se indicadas as linhas que delimitam a área de confinamento e a de surgência das águas subterrâneas, de acordo com SILVA (1983). O limite da área de confinamento é aproximadamente paralelo ao contato entre os basaltos da Formação Serra Geral e os arenitos da Formação Botucatu, desde as imediações de Ourinhos, a sul, até Franca, a norte. Na área de confinamento o nível potenciométrico do Aquífero Guarani localiza-se em cota superior à do contato com a formação Serra Geral.

No que se refere ao limite da área de surgência do Aquífero Guarani, este indica o local a partir do qual o nível d'água subterrânea, sob pressão, eleva-se acima da superfície do terreno. A geometria irregular deste limite é concordante com a topografia regional (SILVA, 1983).

A condutividade hidráulica (K) do Guarani como um todo, foi obtida pelo cálculo da média ponderada dos valores de K das Formações Pirambóia (2,5 m/dia) e Botucatu (3,5 m/dia) (DAEE 1974). O fator de ponderação correspondeu à somatória das espessuras de cada Formação, considerando 14 poços localizados na porção confinada, e 54 poços na área de afloramento. Os valores médios de K obtidos são 2,6 m/dia para a área confinada e 3,0 m/dia para a área livre.



**Figura 7 – Nível Piezométrico aparente do Aquífero Guarani e Vazões Exploráveis.**

Adotando o mesmo procedimento, foi calculada a média ponderada do coeficiente de armazenamento (S) para a porção livre do Aquífero Guarani, considerando um valor médio de 0,15 para a Formação Pirambóia (DAEE 1974) e 0,25 para a Formação Botucatu (SILVA 1983), obtendo-se, nesta área, um valor médio de 0,17. Na porção confinada, a média não foi calculada pela inexistência de valores definidos para cada uma das formações. Por este motivo, dentro do intervalo de  $10^{-3}$  e  $10^{-5}$  fornecido pelo DAEE (1974), optou-se pelo valor de  $10^{-3}$ , pois este possibilitou a obtenção de faixas de vazão mais compatíveis com a minoria dos poços perfurados.

A transmissividade (T), obtida com base no mapa de espessura do aquífero e nos valores de K é de aproximadamente  $260\text{m}^2/\text{dia}$ , ao longo do vale do rio Tietê, na área confinada.

O cálculo de vazão (Q) explorável utilizou o método descrito no capítulo 2 admitindo-se um rebaixamento de 30% de espessura saturada de um período de 50 anos de bombeamento contínuo, como proposto por COSTA (2000). No entanto, o período de exploração considerado neste trabalho foi de 20 anos, o que resultou em um rebaixamento máximo proporcional de 12%, sendo este valor corrigido segundo a proposta JACOB (1969 apud CUSTÓDIO & LLAMAS 1976), para a área de afloramento do aquífero.

Como resultado, foram obtidas as seguintes faixas de vazão recomendada: de 20 a 40 m<sup>3</sup>/h e de 40 a 80 m<sup>3</sup>/h, no sistema livre; e de 80 a 120 m<sup>3</sup>/h, 120 a 250 m<sup>3</sup>/h e 250 a 360 m<sup>3</sup>/h, no sistema confinado (Figura 7). A menor faixa de vazão explorável (de 20 a 40 m<sup>3</sup>/h) pode conter vazões inferiores a 20 m<sup>3</sup>/h nas áreas próximas a Formação Passa Dois, onde o Aquífero apresenta as menores espessuras saturadas. Dentro da área confinada, as vazões aumentam para oeste-noroeste, até se fixarem em valores máximos recomendados de 360 m<sup>3</sup>/h, a partir da linha que se inicia em Ourinhos, a sudeste, e se estende até as proximidades de Miguelópolis, a nordeste (Mapa de Águas Sub. de SP, 2005).

### 2.1.3 – Qualidade Química Natural das Águas Subterrâneas no Guarani.

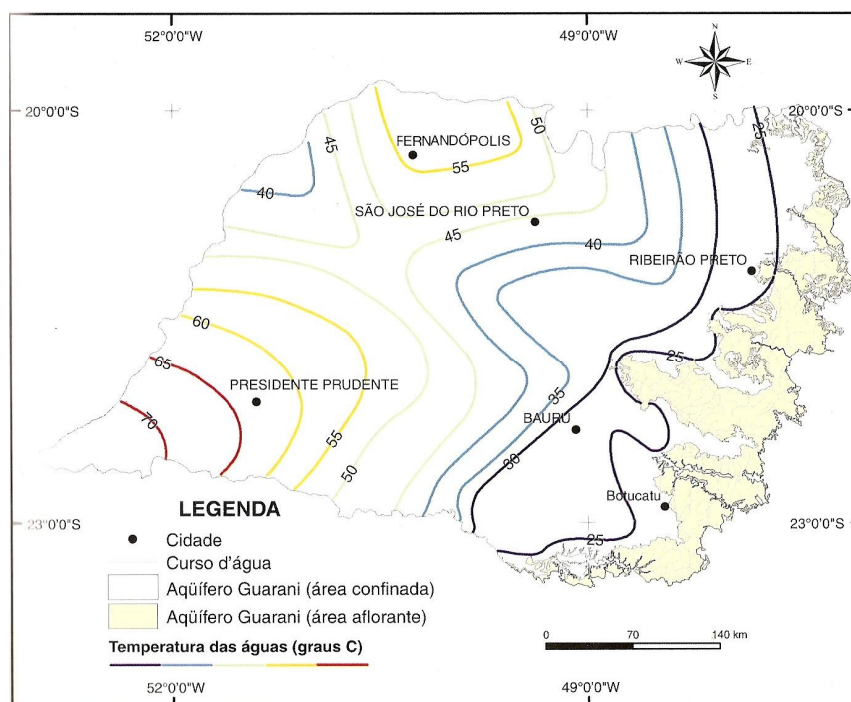
SILVA (1983) separou as águas do Aquífero Guarani de acordo com as áreas de ocorrência do aquífero, sendo estes dados esclarecidos na Tabela 01 abaixo.

Áreas aflorantes, onde o aquífero é do tipo livre	Áreas confinadas, onde há conectividade com a Formação Serra Geral.	Áreas mais confinadas
Águas bicarbonatadas-magnesianas a calco-magnesianas	Águas bicarbonatadas-cálcicas e calco-magnesianas	Águas bicarbonatadas-sódicas evoluindo a cloro-sulfatadas-sódicas
STD: ± 100 mg/L	STD: ± 200 mg/L	STD: ± 650 mg/L

Fonte: modificado de Silva (1983), apud Borghetti *et al.*, 2004.

**Tabela 01 – Águas do Aquífero Guarani segundo Silva (1983), apud Borghetti *et al.* 2004**

De acordo com CAMPOS (1993) as águas deste sistema são predominantemente bicarbonatadas cálcicas e apresentam temperaturas de 22 a 27°C, pH de 5,4 a 9,2 e salinidade inferior a 50 mg/L, na área aflorante. Na área confinada, a temperatura varia de 22 a 59,7°C, o pH de 6,3 a 9,8 e a salinidade de 50 a 500 mg/L. As águas são predominantemente bicarbonatadas e, subordinadamente, sulfatadas – cloretadas sódicas. Os valores de temperatura (Figura 8), pH, salinidade, e de íons cloreto, sulfato e sódio, aumentam o sentido do confinamento (Mapa de Águas Subterrâneas de SP, 2005).



**Figura 8 – Isotermas da área confinada do Aquífero Guarani.**



### 3. INCRUSTAÇÕES E DESINCRUSTAÇÕES

A percolação da água subterrânea na formação geológica ocorre de forma muito lenta, fazendo com que esta permaneça em contato prolongado com os minerais contidos nestes materiais. Este contato é suficientemente prolongado a ponto de proporcionar um perfeito equilíbrio entre a água contendo sais minerais dissolvidos e o meio ambiente. Mantém-se em solução, a quantidade exata de um ou mais minerais que as condições permitem e qualquer perturbação das condições, desequilibra o sistema de solução, resultando na precipitação de materiais insolúveis (CETESB, 1978; DRISCOLL, 1995).

Durante a operação normal dos poços, a água sofre alterações de pH, temperatura e pressão, no momento que entra nos poços, e estas alterações geram corrosão e/ou precipitações dos elementos presentes na água, com variações de intensidade que dependem da composição hidroquímica da água. O acúmulo das incrustações ao longo do tempo pode ocasionar problemas de difícil solução ou danos irreversíveis, e desta forma, a manutenção preventiva dos tem grande importância, pois impede danos maiores ao longo do tempo.

Muitas vezes estas incrustações não são sentidas imediatamente, porém seu acúmulo ao longo do tempo causa problemas de redução da produção de água e alterações de qualidade (MARTINS NETTO, et al, 2005).

Com a redução de vazão e rebaixamento dos níveis, além do problema principal de redução no fornecimento de água para abastecimento das populações, os conjuntos bombeadores saem de seus pontos máximos de rendimento para os quais foram projetados, e assim, com esta queda de rendimento ocorre um aumento do consumo de energia elétrica por m<sup>3</sup> de água explorada em um poço.

A remoção destas incrustações, de forma eficiente e profunda permite que os poços recuperem vazões perdidas e reduzam seu consumo de energia elétrica.

#### 3.1 – Química e Mineralogia dos Carbonatos

Os carbonatos são sais inorgânicos ou seus respectivos minerais que apresentam na sua composição química o íon carbonato CO<sub>3</sub><sup>-2</sup>.

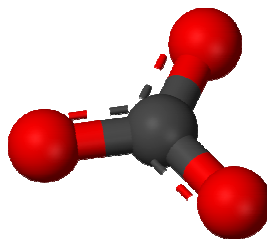


Figura 9 – Representação Gráfica do Íon Carbonato CO<sub>3</sub><sup>-2</sup>

Na natureza os minerais de carbonato de cálcio são encontrados sob duas formas cristalinas:

- **Aragonita:** Quando seus cristais apresentam a forma ortorrômbica.
- **Calcita:** Quando seus cristais apresentam a forma romboédrica ou trigonal.

Dependendo do sistema cristalino que apresentam, os carbonatos se dividem em dois grupos:

- **Carbonatos ortorrômbicos:**
- **Carbonatos romboédricos:**

### Carbonatos Ortorrômnicos:

Dentre os carbonatos anidros que se cristalizam no sistema ortorrômnico destacam-se:

- **Aragonita:** Carbonato de cálcio (  $\text{CaCO}_3$  )
- **Cerussita:** Carbonato plumboso (  $\text{PbCO}_3$  )
- **Estroncianita:** Carbonato de estrôncio (  $\text{SrCO}_3$  )
- **Witherita:** Carbonato de bário (  $\text{BaCO}_3$  )

### Carbonatos Romboédricos

Dentre os carbonatos anidros que se cristalizam no sistema romboédrico ou trigonal destacam-se:

- **Calcita:** Carbonato de cálcio (  $\text{CaCO}_3$  )
- **Dolomita:** Carbonato duplo de magnésio e cálcio (  $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$  )
- **Siderita:** Carbonato ferroso (  $\text{FeCO}_3$  )
- **Rodocrosita:** Carbonato manganoso (  $\text{MnCO}_3$  )
- **Smithsonita:** Carbonato de zinco (  $\text{ZnCO}_3$  )

A solubilização de amostras retiradas de alguns intervalos do corte efetuado no poço, não demonstrou presença significativa de ferro, que seria o elemento seguinte em importância, depois do cálcio e magnésio, presente na água de poços. Associando esta informação à qualidade atual da água, podemos dizer que a incrustação removida era formada por Aragonita/Calcita (  $\text{CaCO}_3$  ) e subordinariamente (quantidade muito inferior) Dolomita (  $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$  ).

### **3.2 – Incrustações por Carbonatos**

Quanto ao cálcio, seu teor nas águas subterrâneas varia, de uma forma geral, de 10 a 100mg/L, podendo atingir 250 a 300 mg/l em determinadas regiões. As principais fontes de cálcio são os plagioclásios cálcicos, calcita, dolomita, apatita, entre outros.

O carbonato de cálcio é muito pouco solúvel em água pura e assim, o cálcio ocorre nas águas na forma de bicarbonato, e sua solubilidade está em função da quantidade do  $\text{CO}_2$  presente. Por sua vez a quantidade de  $\text{CO}_2$  dissolvida depende da temperatura e da pressão, que são, portanto, fatores que vão determinar a solubilidade do bicarbonato de cálcio, ocasionando variações que ora levam à solubilização do carbonato de cálcio, ora levam à sua precipitação, conforme reação abaixo (equação abaixo):

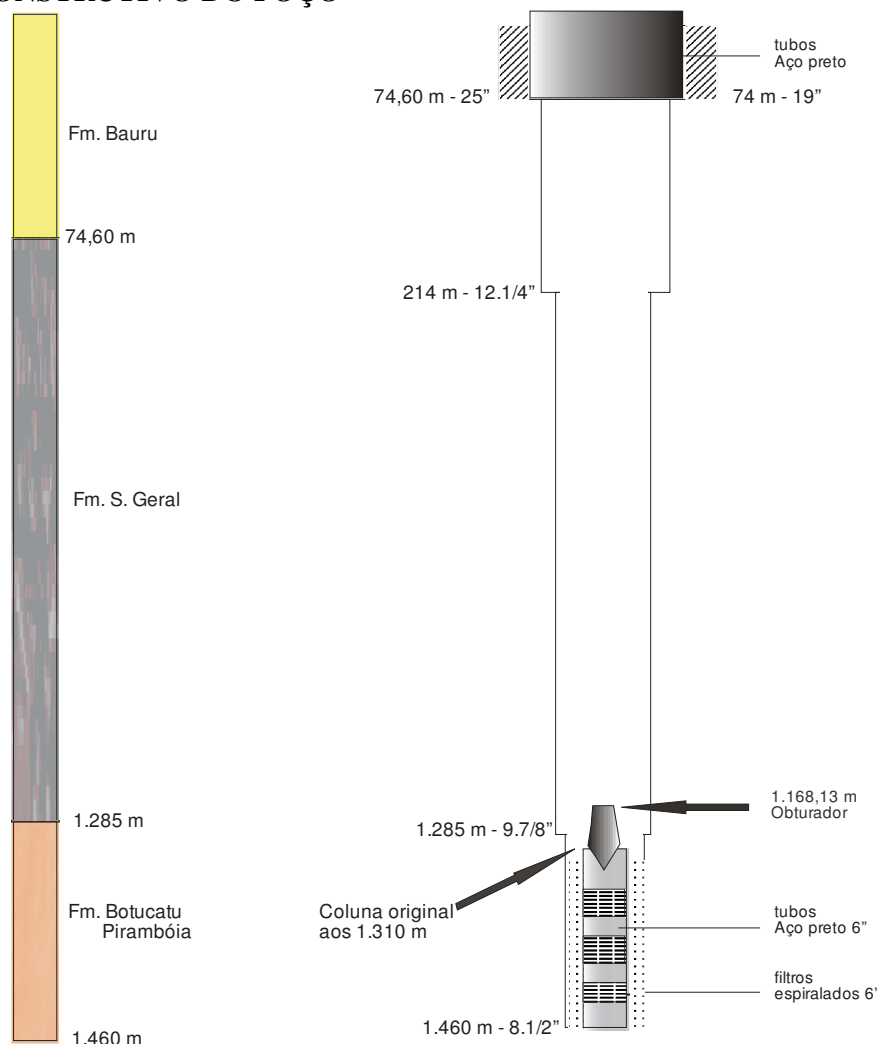


onde,  $\Delta p$  = é variação de pressão.

Para se remover as incrustações formadas por carbonato de cálcio, é necessário que se quebre estas moléculas, e que os íons se mantenham solúveis, possibilitando a sua remoção. Desta forma foi aplicado o NO RUST, que possui estas propriedades, e possibilita que as operações sejam realizadas com pH na faixa de 1,8 a 2,4, que acelera muito a solubilidade dos metais e melhora os resultados, principalmente se comparado com o ácido cítrico que trabalha na faixa de 3,5 a 4,5 e se oxida com o ar durante as operações, e esta oxidação ocasiona um aumentando do pH e perda de eficiência.

O *No Rust* se mostrou capaz de solubilizar os depósitos de carbonato de cálcio com grande velocidade e segurança, sem agredir os metais do poço, mantendo o pH baixo, e os íons metálicos solúveis, possibilitando sua rápida remoção ao término dos trabalhos. DOMENICO & SCHWARTZ (1998) citam que os metais são muito mais móveis nas águas subterrâneas com pH baixo.

#### 4. PERFIL CONSTRUTIVO DO POÇO



#### 5. AGENTES APLICADOS E CÁLCULO DE VOLUME

O agente escolhido para a desincrustação foi o NO RUST, que é utilizado pela SABESP e diversas outras Cias. Estaduais de Saneamento há alguns anos, com conhecida eficiência.

Este agente é isento de metais pesados, possui certificado como não tóxico tipo DL 50 > 2.000 mg/kg, é patenteado, e criado especificamente para poços, e foi escolhido por sua combinação de eficiência e segurança na aplicação, principalmente se comparado a aplicações de ácido muriático (clorídrico hidratado) utilizado no passado, que não é indicado para poços, pode conter expressivas contaminações (inclusive por metais pesados), pode gerar subprodutos perigosos, agride os metais dos poços, e implica em severos riscos de manuseio e a saúde dos funcionários, além de danos ao meio ambiente.

Para cálculo do volume NO RUST a ser aplicado no poço, foi considerado que a câmara da perfilagem óptica teve dificuldade de passar no furo de 9 7/8" na primeira filmagem, e que poços em condições similares apresentam 1 a 2" de incrustação nos filtros.

Multiplicando a espessura de 1" pelo diâmetro médio de 5 1/2" (= 0,4388 m<sup>2</sup>/m linear), em todo o intervalo filtrante, chega-se a 1,73 m<sup>3</sup> de incrustação possível, só no intervalo de produção. Aplicando a densidade média de um carbonato de 2,9 g/cm<sup>3</sup> a este volume de 1,73 m<sup>3</sup>, encontramos 5 toneladas de incrustação que poderiam estar depositadas no intervalo de produção.

O desincrustante utilizado tem densidade de 1,63 g/cm<sup>3</sup>, e o volume aplicado foi de 1.700 litros, com um peso total de 2.771 Kg, suficientes para remover 4.500 Kg de carbonato de cálcio.

A relação “massa de incrustação x massa de desincrustante” é muito importante, e deve ser sempre avaliada com cuidado, pois aplicação com quantidade reduzida do desincrustante podem se traduzir em resultados inferiores aos possíveis com a aplicação das quantidades necessárias.

O volume de carbonato presente no furo de 9 7/8” não foi considerado, pois foi cortado mecanicamente e o desincrustante foi aplicado somente no intervalo de produção do poço.

Para desinfecção final foi utilizado, o bactericida FERBAX, isento de compostos de cloro (não tem possibilidade de geração de THM), criado para aplicação em poços, patenteado pelo fabricante, que também possui certificado de produto não tóxico tipo DL 50 > 2.000 mg/kg.

## **6. DESCRITIVO DAS OPERAÇÕES**

### **17/12/2008 a 20/12/09 - Transporte e Instalação do Canteiro**

- Acesso ao local do poço.
- Transporte e montagem de equipamentos e infra-estrutura de apoio.
- Fixação de espias no solo e Posicionando a sonda.
- Posicionando os tanques de lama.
- Montagem do circuito de lama.
- Preparação de ferramental para início da limpeza.

### **21/12/2008 - Repasse (desobstrução da perfuração)**

- Descendo ferramental para início do repasse com broca “tricone” de 12 ¼” a partir de 72,70 m, circulando água para limpeza, desceu girando com pouca resistência até 134 m, nesta profundidade começou a aumentar a resistência com produção de material carbonático até os 184 m; de 184 a 200 m apresentou maior resistência ao avanço, nos últimos metros começou a prender a broca.
- Retirada da ferramenta com broca de 12 ¼”.
- Descida de ferramental com broca de 8 ¾”.

### **22/12/2008 - Repasse (desobstrução da perfuração)**

- Iniciando repasse com “tricone” de 8 ¾” a partir de 200 m; circulando água para limpeza, avanço com resistência a descida, desceu até 550 m, com produção de material carbonático.
- Retirada da ferramenta com broca de 8 ¾”.

### **06/1/2009 - Repasse (desobstrução da perfuração)**

- Descida de ferramenta, e corte com broca “tricone” de 8 ¾” de 550 m a 688 m; circulando água para limpeza; maior resistência ao avanço; produzindo muito material carbonático.

### **07/1/2009 - Repasse (desobstrução da perfuração)**

- Corte com “tricone” de 8 ¾” de 688 até 880 m; perda de circulação; poço “bebendo” lama.
- Preparando lama a base de CMC, consumo de 730 kg.

### **08/1/2009 - Repasse (desobstrução da perfuração + confirmação do topo do revestimento)**

- Após injeção de lama a base de CMC foi restabelecida a circulação, iniciando com forte produção de material carbonático.
- Repasse com broca “tricone” de 8 ¾”. de 880 até 1.154 m.
- Após os 1.150 m, começou controle de peso e avanço para confirmar o topo do revestimento, aos 1.154 m topou, confirmando com apoio de 2 Ton.

#### **09/1/2009 -Limpeza do furo e descida de hastes para bombeamento**

- Circulando lama para limpeza do furo, até parar de produzir material (08 horas).
- Trocando lama de CMC por água limpa e injetando água por 06 horas.
- Retirando ferramenta com broca e descendo hastes de 5 ¾” para bombeamento pela camisa.

#### **10/1/2009 -Bombeamento inicial aos 90 e 210 m**

- Nível d’ água aos 33,40 m.
- Início do bombeamento com ar comprimido, utilizando 01 compressor de alta pressão e ponta da haste aos 90 m de profundidade, que não resultou em produção de água por baixa submergência.
- Descida de hastes até os 210 m de prof. e bombeamento com ar comprimido, operando em regime de 60/72 seg. saindo água para 120/160 seg. saindo somente ar (Fig.10).
- Nesse regime não consegue levantar sujeira (o material fica flutuando dentro do poço).
- Água com temperatura em torno dos 40 °C
- Descendo a ferramenta no fundo para bombeamento por dentro do hasteamento.

#### **11/1/2009 -Bombeamento para limpeza**

- Descida de hastes até os 1.154m, com injetor por dentro aos 75,30 m; NE aos 33,50 m; bombeamento com vazão muito baixa, em torno de 10 m<sup>3</sup>/h.
- Descida do Injetor para os 114 m; Iniciando o bombeamento, vazão de 20 m<sup>3</sup>/h; sem a presença de material cortado ou areia.

#### **12/1/2009 -Aplicação de NO RUST**

- Retirando o injetor interno de 1 ½” e preparando para injeção do desincrustante.
- Injetando 1.200 l de No Rust das 18: 50 as 19: 50 h (Figura 11); deslocando o produto para fora das hastes com a injeção de água limpa em volume de 20 m<sup>3</sup>; tempo de ação do agente.
- Descendo injetor interno de 1 ½” aos 114 m.

#### **13/1/2009 -Remoção de incrustações solubilizadas**

- Bombeando com 01 compressor, vazão 20 m<sup>3</sup>/h;
- Descida do injetor para 174 e retomada do bombeamento com vazão em torno de 30 m<sup>3</sup>/h.
- Água muito turva com aspecto esbranquiçado, pouco material sólido.

#### **14/1/2009 -Bombeamento de limpeza e verificação de resultados**

- Bombeamento por mais 08 horas, com água ainda turva; retirada do injetor e subida das hastes para 210 m de profundidade, para bombeamento pela camisa.
- Iniciando bombeamento com um compressor para comparação dos resultados com o bombeamento do dia 10/01/09.
- O regime de bombeamento passou a ser de 30 seg. com água por 30 seg. sem água, o volume produzido é o mesmo, assim a vazão relativa dobrou em relação ao primeiro bombeamento antes da aplicação do desincrustante.
- A temperatura da água subiu para valor ao redor dos 50 °C.
- Produzindo pouco carbonato, forte turbidez e produção de areia muito fina cinza clara.

#### **15/1/2009 - Bombeamento de limpeza e verificação de resultados**

- Bombeamento com dois compressores, regime constante, saindo água sem intervalos.
- Vazão estimada entre 250 e 300 m<sup>3</sup>/h.
- Água muito turva com produção de material sólido (carbonato, pedaços de basalto, areia muito fina), com meia hora a água ficou limpa só com areia fina.

#### **16/1/2009 - Bombeamento de limpeza**

- Bombeamento com 02 compressores, e com a confirmação dos resultados foi recomendado nova aplicação do desincrustante.

### **17/1/2009 - Nova aplicação do desincrustante**

- Descendo hastes a 1.154 m e preparando para a nova injeção de *NO RUST*.
- Injetando 500 l de No Rust das 10: 30 as 11: 00 h e deslocando o produto para fora das hastes com água limpa.
- Deixando o produto agir por 5 horas.
- Subindo hasteamento aos 210 m para bombeamento pela camisa.
- Bombeamento com dois compressores; saindo água sem interrupção;
- Vazão estimada entre 350 e 400 m<sup>3</sup>/h (Figura 12).
- Água muito turva com produção de material sólido (carbonato, pedaços de basalto, areia muito fina), com 1 hora a água ficou limpa só com produção de areia fina.
- O bombeamento realizado pela camisa do poço impossibilita a medição de vazão, mais foi possível avaliar o aumento de vazão em relação à primeira aplicação.
- Temperatura da água elevou mais ainda, chegando aos 54 °C; pH 7,8

### **18/1/2009 e 19/01/09 -Bombeamento com compressor**

- Bombeamento com ar comprimido executando operações de liga e desliga
- Retirada da ferramenta e encerramento da etapa de limpeza com compressor, aguardando desenvolvimento e teste de vazão com bomba submersa.

### **24/1/2009 - Descida de bomba submersa e início de bombeamento**

- Descendo bomba submersa marca *Ebara*, modelo BHS- 1010 – 140 CV, aos 113 m.
- Edutor: hasteamento de 5" e NE aos 33,50 m.
- Iniciou a limpeza com registro estrangulado e vazão de 80 m<sup>3</sup>/h.
- Água turva esbranquiçada (leitosa), sem areia fina; após 2 horas água limpa.
- Aumentou a vazão para 120 m<sup>3</sup>/h., turvou a água, com ½ h água limpa, sem areia fina.
- Aumentou a vazão para 150 m<sup>3</sup>/h., turvou a água, com ½ h água limpa, sem areia fina.
- Aumentou a vazão para 170 m<sup>3</sup>/h., turvou a água, com 1 h água limpa, sem areia fina.
- Abriu todo o registro vazão de 186 m<sup>3</sup>/h., turvou a água, com 1 h água limpa, com areia fina no início, passando a menor teor durante o bombeamento.

### **25/1/2009 -Bombeamento de limpeza com bomba**

- Bombeamento com a bomba submersa, executando operações de liga e desliga.
- Vazão em torno de 180 m<sup>3</sup>/h.; presença constante de areia (teor igual a obtido na operação antes da perda de vazão); Encerrando limpeza e recuperando o poço para iniciar teste.

### **26/1/2009 - Teste de Vazão**

- Nível estático = 32,82 m; tempo de bombeamento: 24 horas.
- Vazão: 166,70 m<sup>3</sup>/h (Figura 13).
- Nível dinâmico: 51,50 m ( Rebaixamento= 18,68 m) .
- Capacidade específica: 8,92 m<sup>3</sup>/h/m
- Características da água: limpa com presença de areia fina.
- Escalonados: 3 etapas de 3 horas.
- Primeira Etapa: vazão de 116,00 m<sup>3</sup>/h – Nível dinâmico: 36,45 m.
- Segunda Etapa: vazão de 155,80 m<sup>3</sup>/h – Nível dinâmico: 45,50 m.
- Terceira Etapa: vazão de 166,70 m<sup>3</sup>/h – Nível dinâmico: 51,50 m.
- Condições de Operação Previstas:
  1. Vazão: 190 m<sup>3</sup>/h – Nível dinâmico: 56,57 m – Prof. da bomba: 72 m.
  2. Vazão: 200 m<sup>3</sup>/h – Nível dinâmico: 57,82 m – Prof. da bomba: 72 m.
  3. Vazão: 210 m<sup>3</sup>/h – Nível dinâmico: 59,07 m – Prof. da bomba: 72 m.



**Figura 10. Detalhe do bombeamento, antes da aplicação do desincrustante (com regime de 60 / 72 segundos saindo água para 120 / 160 seg. saindo somente ar) vazão estimada de 40 a 50 m<sup>3</sup>/h.**



**Figura 11. Aplicação inicial de 1.200 l de NO RUST.**



**Figura 12. Detalhe do bombeamento final, após a aplicação do desincrustante, sem a interrupção da produção de água (regime contínuo), com vazão estimada de 350 a 400 m<sup>3</sup>/h.**



**Figura 13. Detalhe do teste de bombeamento.**



## 7. RESULTADOS OBTIDOS QUANTO A VAZÃO

Os resultados obtidos no teste de vazão (Figura 14), e sua interpretação confirmam o êxito das operações com a reabilitação do poço e recuperação da capacidade específica.

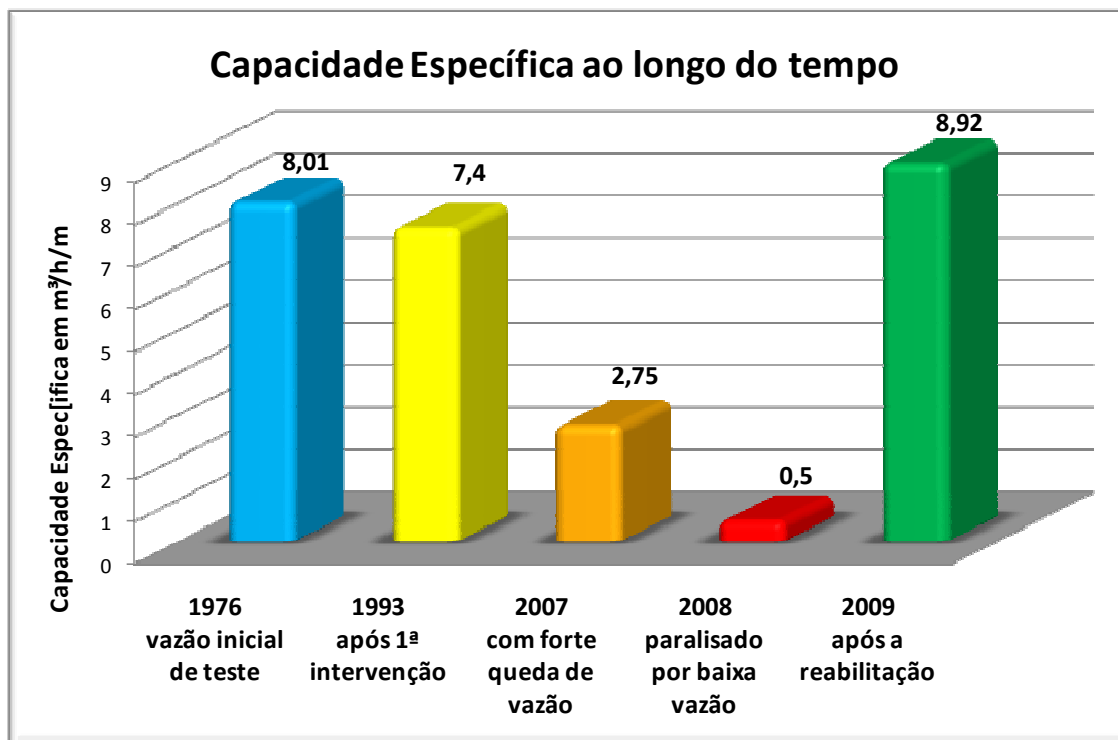


Gráfico 01. Capacidade Específica em m³/h/m, do P15 – SABESP – Fernandópolis ao longo do tempo, com ênfase para os resultados após a desincrustação química em 2009.

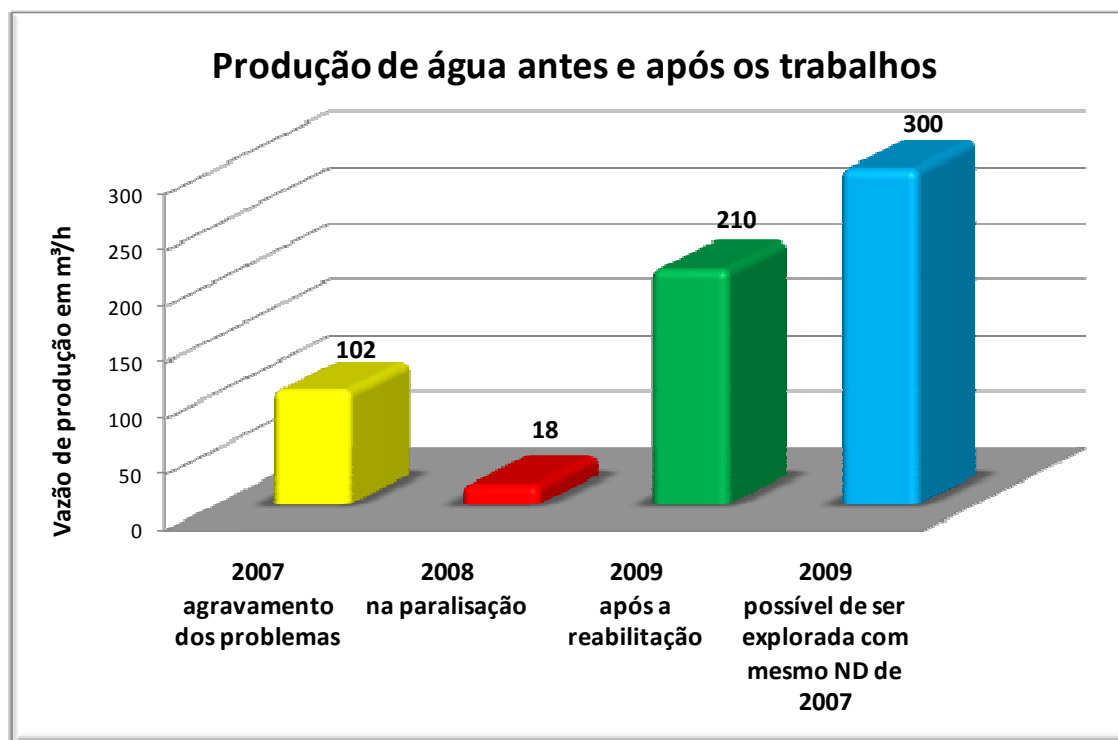


Gráfico 02. Vazão comparativa antes e após as operações de desincrustação, com ênfase a possibilidade de exploração de 300 m³/h com mesmo ND de 2007.

## 8. REDUÇÃO NO CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA

Para a interpretação dos dados de consumo de energia foram utilizados os dados históricos da SABESP, de consumo de energia em kW e produção de água em m<sup>3</sup> (total mensal e instantânea), além de medidas atuais obtidas de forma instantânea com instrumentação apropriada. A **Tabela 02** abaixo detalha o consumo de energia elétrica em kW/m<sup>3</sup> de água produzida pelo poço, e quantidade de água em m<sup>3</sup>, produzida para cada kW de energia elétrica consumido.

Consumo \ Ano	2006 Janeiro	2007 Maio	2007 Agosto	2009 Fevereiro
kW/m <sup>3</sup>	0,38	0,67	1,02	0,36
m <sup>3</sup> /kW	2,63	1,62	0,98	2,75

**Tabela 02. Comparativo de consumo de energia e produção de água ao longo do tempo.**

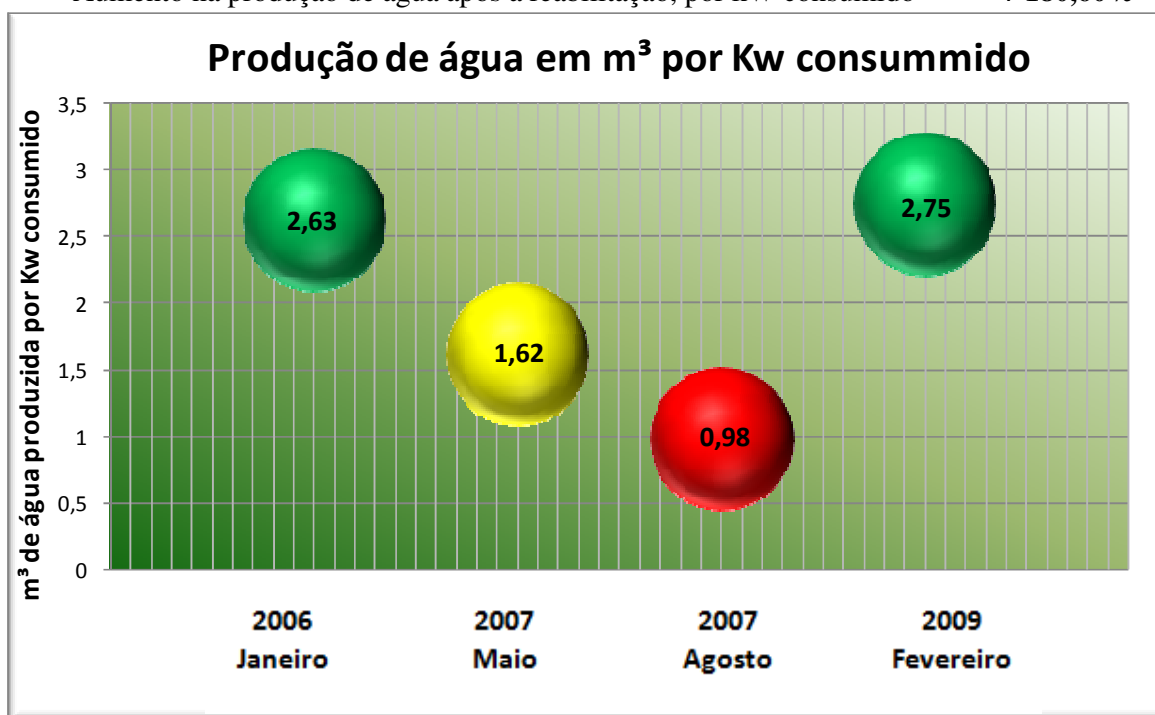
Estes dados demonstram que após os trabalhos houve uma redução de energia elétrica de 46,26 % em relação ao consumo do início do ano de 2007, e um aumento de produção de água de 180,60 % por KW consumido de energia. Um comparativo percentual de períodos é detalhado abaixo:

Comparativo entre períodos de Maio de 2007 e Fevereiro de 2009 (após a reabilitação).

- Redução do consumo de energia elétrica após a reabilitação = (-) **46,60 %**
- Aumento na produção de água após a reabilitação, por kW consumido = + **69,75 %**

Comparativo entre períodos de Agosto de 2007 e Fevereiro de 2009 (após a reabilitação).

- Redução do consumo de energia elétrica após a reabilitação = (-) **64,70 %**
- Aumento na produção de água após a reabilitação, por kW consumido = + **180,60 %**



**Gráfico 03. Gráfico comparativo da produção de água em m<sup>3</sup>/ kW de energia elétrica consumida**

Considerando a produção atual de 200 m<sup>3</sup>/h x 440 horas/mês (média de 14,6 h/dia) temos uma produção mensal de 88.000 m<sup>3</sup>, com um consumo de 32.000 kW/mês, que aplicado sobre o consumo do início de 2007, antes dos trabalhos, teremos um consumo de 54.320 kW, para se

produzir o mesmo volume de água, ou seja, a condição atual de exploração de água no poço, após a reabilitação, oferece uma redução de 41,08 % no consumo de energia elétrica, com uma redução de 22.320 kW/mês, ou 267.840 kW/ano, somente nesta operação de reabilitação de um poço.

Se compararmos com Agosto de 2007, onde o problema havia se agravado, o consumo em 2007 seria superior em 57.795 kW/mês (693.540 kW por ano a mais). Além deste acréscimo do consumo de energia, em 2007 o poço já trabalhava com praticamente 5,5 vezes a menos do que sua capacidade específica, e assim a produção máxima foi de 7.920 m<sup>3</sup>/mês, que comparada com a produção atual de água após a reabilitação, de 88.000 m<sup>3</sup>/mês, é menos do que 10 % do que o poço produz hoje.

## 9. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A metodologia empregada se mostrou adequada e muito eficiente, culminando com a recuperação total do poço.

A capacidade específica atual do poço, após os trabalhos, de 8,92 m<sup>3</sup>/h/m, é 243,63 % maior do que em 2007 (2,75 m<sup>3</sup>/h/m), quando os problemas começaram a se agravar, e 17,8 vezes maior do que em 2007 (0,50 m<sup>3</sup>/h/m) no agravamento final dos problemas, e paralisação do poço.

Se compararmos com a capacidade específica atual, com o início da operação em 1976 (8,01 m<sup>3</sup>/h/m), e em 1993 (7,40 m<sup>3</sup>/h/m), após a primeira intervenção, podemos dizer que o poço está totalmente recuperado.

O rebaixamento do nível estático para 33,82 m, ao longo destes 33 anos se deve a descompressão do aquífero.

O resumo de resultados comparativos entre a situação atual, após a reabilitação, com Maio de 2007 (no início do agravamento do problema), está detalhado abaixo (não foram utilizados os dados de Agosto de 2007, pois a situação estava em nível crítico, e assim foram desconsiderados).

- **Aumento** do fornecimento total de água em m<sup>3</sup>/hora = **100,00 m<sup>3</sup>/h**
- **Aumento** do fornecimento total de água em m<sup>3</sup>/ano = **528.000 m<sup>3</sup>/ano**
- **Aumento** da capacidade específica do poço = **243,63 %**
- **Aumento** percentual na produção de água = **100,00 %**
- **Redução** do consumo de energia elétrica em kW/m<sup>3</sup> = **46,60 %**
- **Economia mensal** de energia elétrica para o mesmo volume de água = **22.320 kW/mês**
- **Economia anual** de energia elétrica para o mesmo volume de água = **267.840 kW/ano**

Quanto à utilização do desincrustante utilizado, no intervalo de produção do poço, a base e orto-fosfatos de características ácidas (NO RUST), este se mostrou muito eficiente, inclusive mantendo sua capacidade de desincrustação e manutenção de pH baixo, mesmo com elevadas pressões (146 Kg/cm<sup>2</sup>), removendo assim as incrustações, o que permitiu a recuperação de capacidade específica e produção de água do poço, com total segurança nas aplicações e descarte.

O primeiro teste de produção, realizado com compressor, após o corte mecânico das incrustações e desobstrução do poço até 1.150 m de profundidade, demonstrou vazão aparente de 30 a 50 m<sup>3</sup>/h (regime de 60/72 seg. saindo água para 120/160 seg. sem sair água), com temperatura ao redor de 40 °C, e a repetição deste ensaio de produção nas mesmas condições, após a aplicação do desincrustante, demonstrou vazão aproximada de 200 m<sup>3</sup>/h (regime de 30 seg. saindo água por 30

seg. sem sair água), e a elevação da temperatura para 50 °C comprovam a eficiência da desincrustação química, que possibilitou a recuperação do poço.

Como a incrustação é um fator constante, os níveis e vazões devem ser acompanhados ao longo do tempo, para que sejam efetuadas manutenções preventivas, antes do agravamento dos problemas.

A realização de manutenções preventivas tem custo menor do que as corretivas, além de prevenir que o poço venha a operar em regime de maior consumo de energia elétrica, e com menor produção de água, o que aumenta seu custo operacional e diminui a receita, além da redução do volume de água para fornecimento à população.

## 10. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. DAEE - DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA, Manual de Operação e Manutenção de Poços - DAEE, São Paulo, 1982, 2ª ed, 90p.
2. DRISCOLL, F.G. 1995. Groundwater and wells. 2ª Ed., Johnson Screens, St. Paul, Minnesota, 1089 p.
3. DOMENICO, P.<sup>a</sup>; SCHWARTZ, F.W. 1998. Physical and Chemical hydrogeology. 2a Ed., John Wiley & Sons, Nova York, 506 p.
4. HANTUSH, M.S. 1956. Analysis of data from pumping tests in leaky aquifers. Am. Geophys. Union Transactions, Washington, 37:702-714.
5. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Pesquisa Nacional de Saneamento Básico - 2000. Rio de Janeiro: IBGE, 2002. CDROM.
6. MAPA DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DO ESTADO DE SÃO PAULO, 2005, ESCALA 1:100.000 – DAEE, IG,IPT,CPRM, 119 p.
7. MARTINS NETTO, J.P.G; DINIZ, H.N., 2002. Perspectivas De Redução De Íons Metálicos Nas Águas Subterrâneas A Partir De Processos De Desincrustação Química Em Poços Tubulares Profundos – Estudo De Um Caso Em Ribeirão Preto, SP. Livro de Resumos... XII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, Florianópolis, ABAS/DNPM/UFSC-PPGEA, - 2002, CD-ROM
8. MARTINS NETTO, J.P.G.; DINIZ, H.N., 2002. FRANCO F., F.W.B., BIANCHI N., C., Desincrustação Química Em Poços Tubulares Profundos A Partir da Utilização de Ortofosfatos Ácidos – Estudo De Um Caso Em Presidente Prudente, SP -. XII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, Florianópolis, ABAS/DNPM/UFSC-PPGEA, - 2002, CD-ROM
9. MARTINS NETTO, J.P.G; , 2007. FRANCO F., F.W.B., BIANCHI N., C., O.: Aumento da Produção de Água, Redução do Consumo de Energia Elétrica e Recuperação de Investimentos, Através da Manutenção e Desincrustação Química em Poços, com a Utilização de Produtos a Base de Orto-Fosfatos Ácidos, XVIII - AESABESP , São Paulo, SP.
10. WIKIPEDIA - <http://pt.wikipedia.org>