

# **PROBLEMAS ASSOCIADOS À CLORAÇÃO DE ÁGUA DE POÇOS PARA ATENDIMENTO DA PORTARIA 518, E SOLUÇÕES APLICADAS.**

José Paulo Godoi Martins Netto <sup>1</sup>; Hélio Nóbile Diniz <sup>2</sup>; Taric Santos de Andrade <sup>3</sup>; Cleberson Berto da Silva <sup>4</sup>

## **RESUMO**

A utilização de água subterrânea tem grande importância no abastecimento de água de nosso País, e com a entrada em vigor da Portaria Federal do Ministério da Saúde (MS), nº518 / 2004, que determina a manutenção de cloro livre residual e análises periódicas para água potável de consumo humano, observou-se um significativo aumento no número de casos de alterações físico-químicas da água final, atribuídos à corrosão, incrustações/desincrustações em tubulações.

Em paralelo às exigências Legais, o aperfeiçoamento dos processos, normalizações, controle de qualidade e grande preocupação com o meio ambiente, fizeram com que Indústrias e usuários privados, tomassem, ao longo dos últimos anos, medidas mais rígidas de controle da água potável, aumentando assim o número de análises, e com isto um maior número de problemas foram relatados. Este acréscimo de dados permitiu um conhecimento maior dos problemas, e a partir daí, a busca de soluções.

Neste trabalho são relatados os principais casos relacionados ao Ferro, Cobre, Cálcio/Magnésio e as soluções encontradas e aplicadas para cada caso.

## **ASSOCIATED PROBLEMS TO THE CHLORINATION OF WATER WELLS FOR ATTENDANCE OF BRAZILIAN FEDERAL LAW, MS 518 , AND APPLIED SOLUTIONS.**

## **ABSTRACT**

The use of the groundwater has great importance for the water supply of our Country, and with the establishment of the Federal Law n ° MS 518/2004, that determines the maintenance of the residual free chlorine and periodical analyses of drinking water for human consumption, was evidenced a significant increase in the number of cases of physical-chemical alterations in the final water, attributed to the corrosion, incrustations/disincrustation in pipes.

---

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

<sup>2</sup> Instituto Geológico do Estado de São Paulo – Av. Miguel Stéfano, 3900, Água Funda, São Paulo, SP – Fone (11) 5073-5511 – email: heliodiniz1@yahoo.com.br

<sup>3</sup> Engenheiro Consultor - Rua Padre Chico, 551 - São Paulo – SP – Fone: (11) 8122-0351 - email: taric.andrade@gmail.com

<sup>4</sup> Técnico Químico Consultor - Rua Tanque Velho, 595, Várzea Paulista – SP – Fone: (11) 4596-1787 – email: cleberson-silva@uol.com.br

In parallel to the Legal requirements, the improving of the processes, standardization, quality control and greater concern with the environment, had made the private Industries and users, take, throughout the last years, more rigid control measures of drinking waters, therefore, increasing the number of analyses, and with this a bigger number of problems had been found. This addition of data allowed a bigger knowledge of the problem, and from then on, the search for answers.

In this work are listed the main cases related to Iron, Copper, Calcium/ Magnesium and the solutions joined and applied for each case.

**PALAVRAS-CHAVE:** Portaria 518, ortopolifosfatos, corrosão.

## 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 ( Zoby & Matos, 2002 [1]), sendo mais de 11.000 na Região Metropolitana de São Paulo (Martins Netto *et al.*, 2004 [2]) e aproximadamente 4.000 poços na Região Metropolitana de Recife, (Costa, 2000 [3]). Dados do IBGE indicam que 15,6 % dos domicílios utilizam exclusivamente água subterrânea ( IBGE, 2002 [4]).

Além da utilização doméstica, os poços abastecem de maneira muito expressiva a indústria, e assim a água subterrânea percorre milhares de quilômetros de tubulações nos usuários privados, considerados como “Sistemas Alternativos de Abastecimento”, pela Portaria Federal nº 518 do Ministério da Saúde ( BRASIL, MS 518 [5]).

O contato natural da água com tubulações, gera corrosão e incrustações, com variações de intensidade que dependem da composição e características hidroquímicas da água.

A água dos poços normalmente não é tratada para que se obtenha um menor resultado de corrosão e incrustação, e assim os problemas relacionados com estas, são comuns.

No caso da água distribuída pelos “Sistemas de Abastecimento” (públicos), o problema pode ser menor. Estes Sistemas fornecem água com características químicas mais equilibradas, pois também sofrem os efeitos da incrustação e corrosão, e assim tratam a água buscando o menor efeito desta sobre as tubulações, para que esta não se altere no percurso, e possa chegar aos pontos finais de consumo dentro dos limites estabelecidos pela MS 518.

A correta exigência da MS 518, de que toda água potável para consumo humano, passe por um processo de desinfecção, e contenha um teor mínimo 0,5 mg/l de cloro residual livre em qualquer ponto da rede de distribuição, tem gerado um aumento no número de problemas de alteração de qualidade físico-química final da água, principalmente nos usuários privados, pois em

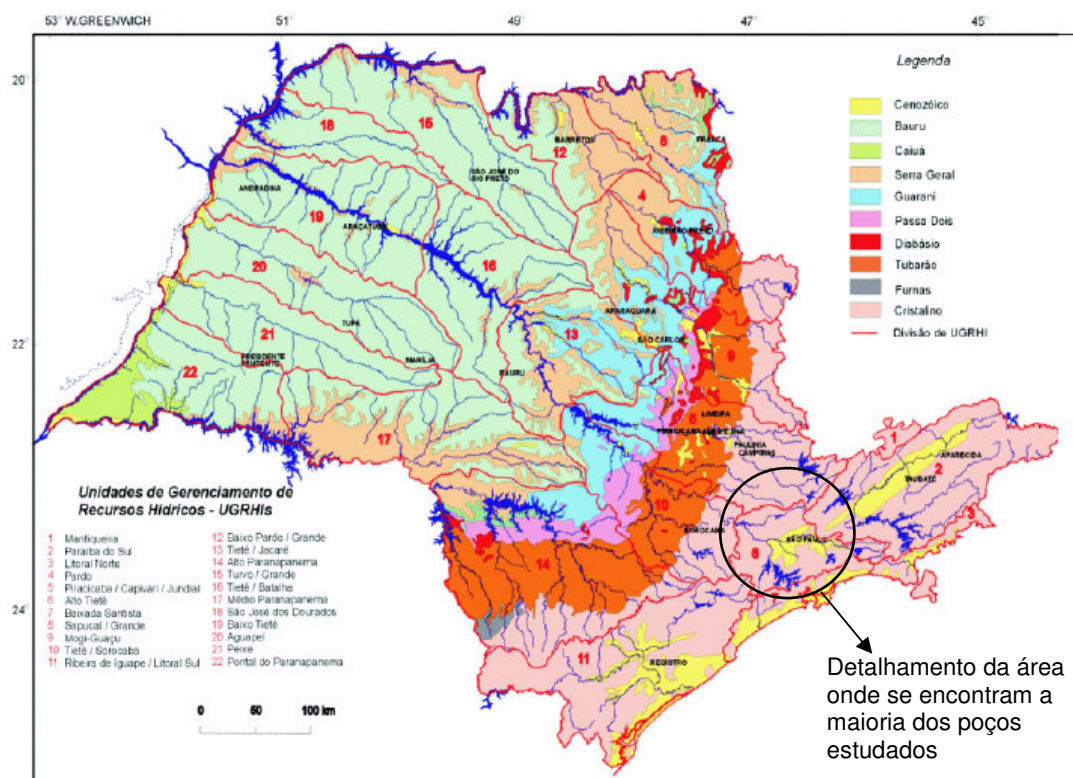
alguns casos a água era utilizada sem cloração ou com cloração abaixo dos limites desejados, e com a implementação da cloração, ou correção dos sistemas já instalados, agravou-se a agressão às tubulações e suas conseqüências.

Alterações de qualidade, relacionadas ao ferro e a rede de distribuição são tão importantes que em vários casos observados a água era extraída dos poços sem qualquer anomalia, e o resultado nos pontos finais de consumo era de água não potável, por conter alterações no ferro, cor e turbidez.

A solução encontrada para estes problemas, através da aplicação de ortopolifosfatos é largamente utilizada pelo sistema público, sendo para os usuários privados, os agentes e metodologias foram adaptados para uso em sistemas menores que com características distintas de tubulações, que são preferencialmente de aço galvanizado, seguidos pelo PVC e cobre.

Os sistemas públicos normalmente se valem de tubulações de ferro fundido, ligas metálicas ou revestimentos de argamassa, que são mais resistentes a ataques químicos e aplicação de cloro, com ramais menores em PAD.

Problemas associados à elevação dos teores de Cobre e aparecimento de precipitados de Cálcio e Magnésio, também foram encontrados na RMSP.



**Figura 1.** Mapa Geológico do Estado de São Paulo – IPT – 1981[6], com os principais aquíferos e detalhamento da área onde se encontramos a maioria dos poços estudados.

O presente trabalho trata destes problemas de alteração de qualidade da água, ocasionados ou agravados pela adição de cloro, para controle bacteriológico e atendimento da MS 518, com alteração de sua estabilidade e característica, em relação à incrustação e corrosão nas tubulações.

Foram estudados diversos casos, e relatados a seguir os típicos de cada problema maior (Ferro, Cobre e Cálcio – Magnésio). Os casos relatados estão localizados na Região Metropolitana de São Paulo – RMSPP e proximidades, Fig. 01, com poços explorando o Aquífero Sedimentar e Embasamento Cristalino.

A solução encontrada de aplicação de ortopolifosfatos de diferentes composições foi adotada para todos os casos.

## **2. GEOLOGIA E HIDROGEOLOGIA DA REGIÃO METROPOLITANA DE SÃO PAULO**

### **2.1. A Bacia Sedimentar de São Paulo**

A Bacia Sedimentar de São Paulo faz parte de um conjunto de bacias tafrogênicas do Sistema de Rifts da Serra do Mar. Em termos gerais este conjunto é estruturado segundo E-NE como uma estreita faixa deprimida, englobando de sudoeste para noroeste as bacias de Curitiba, os grabens de Guaraqueçaba e Sete Barras, a bacia de São Paulo, a bacia de Taubaté, as bacias de Resende e Volta Redonda, o graben da Guanabara, a bacia de Itaboraí e o graben da Barra de São João. O *rift* segue aproximadamente a linha de costa atual, distando em média 70 km ao longo de 900 km de extensão (RICCOMINI & COIMBRA, 1992 [7]).

Na concepção atual (RICCOMINI, 1989 [8]; RICCOMINI & COIMBRA, 1992[7]), o quadro litoestratigráfico para os depósitos sedimentares continentais terciários da Bacia de São Paulo compreende uma seqüência basal, com as Formações Resende, Tremembé e São Paulo englobadas pelo Grupo Taubaté, recortadas de forma presumivelmente discordante pela Formação Itaquaquetuba.

A Formação São Paulo foi estudada por vários autores, que a descrevem como sedimentos predominantemente compostos por argilas, siltes e areias argilosas finas, sendo raras as ocorrências de areias grossas e cascalhos finos (LEINZ & CARVALHO 1957 [9]; WERNICK 1966 [10]; COZZOLINO 1972[11]; SUGUIO *et al.* 1972[12]).

O baixo grau de arredondamento e o alto teor de muscovita (WERNICK 1996[10]), bem como o baixo grau de seleção granulométrica (SUGUIO *et al.* 1972[12]), permitem classificar os sedimentos da Formação São Paulo como textural e mineralogicamente imaturo (ABGE 1980[13]).

A área geográfica da Bacia de São Paulo expõe terrenos do Pré-Cambriano, sedimentos de idade terciária e cobertura aluvial quaternária. A principal fase de sedimentação dos depósitos que preenchem a Bacia de São Paulo ocorreu no Oligoceno. Os sedimentos continentais terciários ocupam área irregular.

A borda norte da Bacia é retilínea, com mergulho acentuado, delimitada pelos falhamentos Taxaquara-Jaguari, ao passo que a borda sul tem mergulho suave e limites irregulares MARTINS NETTO *et al.* (2002 [2]).

### **2.1.1. O Arcabouço Estrutural e a Estratigrafia da Bacia Sedimentar**

A Bacia de São Paulo é estruturada na forma de um semi-graben basculado para NNW, com espessura máxima contínua de sedimentos da ordem de 256 m (TAKIYA, 1991[14]).

A partir de mapas de contorno estrutural do embasamento, efetuados por TAKIYA *et al.*(1989[15]) e TAKIYA (1991[14]), pode-se constatar que as maiores espessuras de sedimentos terciários encontram-se na parte nordeste da Bacia (em Guarulhos) e leste (Bairros da Moóca, Tatuapé e Vila Formosa) onde ultrapassam 170m.

Toda a Bacia Sedimentar de São Paulo tem uma origem tectônica de forma bastante marcante, que foi produzida por remobilização de grandes falhamentos transcorrentes de direção preferencial ENE, falhamentos normais de extensão regional com ângulo de mergulho de 60° e falhas de cavalgamento afetando em antigas zonas de falhas transcorrentes. Toda a região é extremamente cisalhada, sendo comum abaixo do pacote sedimentar, espesso manto de alteração das rochas do embasamento e abaixo dele, zonas cataclásticas extensas, nem sempre produtivas do ponto de vista hidrogeológico, mas com halo de alteração intenso que produziu zonas argilosas dentro dos maciços graníticos-gnaíssicos.

Os halos de alteração nos maciços graníticos-gnaíssicos fraturados foram produzidos pela percolação da água meteórica que atingiu principalmente os minerais menos resistentes ao intemperismo, como: biotitas, anfibólios e piroxênios.

## **3. ASPECTOS HIDROGEOLÓGICOS DA REGIÃO METROPOLITANA DE SÃO PAULO**

Na Região Metropolitana de São Paulo, consegue-se distinguir dois sistemas aquíferos (CAMPOS, 1994[16]). São: aquífero sedimentar São Paulo, permeável por porosidade granular e aquífero fraturado Cristalino, permeável por porosidade de fissuras. Mas, devem ser citadas também as coberturas aluviais mais recentes, de idade quaternária, que se desenvolveram ao longo dos principais rios que drenam a região (Tietê, Pinheiros e Tamanduateí).

### **3.1. Aquífero sedimentar**

O aquífero sedimentar corresponde aos depósitos de idade Terciária e Quaternária da Bacia Sedimentar de São Paulo. A bacia possui forma elíptica irregular com orientação NE-SW, sendo delimitada por falhas transcorrentes do embasamento cristalino, com ramificações laterais importantes que possibilitaram a formação dos grabens do Jaguaré, Baquirivu-Guaçu e Braz Cubas. A área de afloramento destes sedimentos cobre uma superfície total de 1.452 km<sup>2</sup> (REBOUÇAS, 1992[17]).

O caráter extremamente heterogêneo, engendrado pela sucessão de lentes e/ou camadas descontínuas de areias, intercaladas por corpos argilosos ou formando misturas em proporções

variadas, faz com que as condições dominantes de ocorrência das águas subterrâneas no sistema aquífero sedimentar sejam de aquífero semi-confinado (REBOUÇAS, op.cit). A espessura do pacote sedimentar é muito variável, com os valores mais frequentes situados entre 100 e 200m (DAEE, 1975b [18], 1975b[19]).

### **3.2. Aquífero cristalino**

O Sistema Aquífero Cristalino corresponde ao manto de alteração e ao sistema de fissuras das rochas ígneas e metamórficas do Complexo Embu e do Grupo São Roque.

Na região metropolitana de São Paulo as rochas ígneas e metamórficas são, em geral, granitos, gnaisses, filitos, xistos e quartzitos, que, quando não alteradas, são impermeáveis e não constituem aquífero. No entanto, os eventos tectônicos que afetaram esses maciços cristalinos e a ação climática na superfície, formaram sistemas de falhas e fraturas e horizontes de alteração da rocha, propiciando condições de percolação de água subterrânea.

Desta forma, semelhante aos basaltos, o potencial hídrico destas rochas é limitado à ocorrência dessas zonas favoráveis, o que resulta em grande variação das condições de produção, com valores extremos de 0 a 50 m<sup>3</sup>/h, média de 7 m<sup>3</sup>/h e a vazão específica média de 0,3 m<sup>3</sup>/h/m, oscilando entre 0,06 e 0,7 m<sup>3</sup>/h/m. Considerando-se o aquífero de forma global, verificaram-se valores de transmissividade que variam entre 0,4 e 14 m<sup>2</sup>/dia

A recarga natural, em decorrência das chuvas, escoia através das camadas de rocha alterada e zonas fissuradas, sendo, dessa forma, armazenada. Geralmente, a baixa transmissividade nos horizontes aquíferos e a ausência de fluxos de água em escala regional, mesmo em falhas e fissuras, condicionam a formação de unidades independentes em cada vale; aí existe um regime de escoamento próprio, sem relacionar-se a áreas relativamente distantes, constituindo o escoamento básico de rios e riachos que drenam esses vales.

## **4. CARACTERIZAÇÃO HIDROQUÍMICA DAS ÁGUAS NA RMSP**

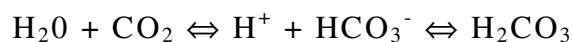
A composição química das águas subterrâneas é adquirida das rochas e solos que atravessam, e comumente refletem a litologia presente. Na RMSP, são explorados os aquíferos Sedimentar e Cristalino, que apresentam naturalmente características distintas.

PARISOT, (1983 [20]) distingue a água do aquífero sedimentar da água do aquífero cristalino, na RMSP, baseando-se no teor dos sais dissolvidos. Ela infere que, para o aquífero sedimentar o teor de sólidos totais dissolvidos é muito baixo, entre 3 e 45 mg/l, enquanto as águas do aquífero cristalino são mais mineralizadas, entre 80 e 500 mg/l. Esta autora atribui a mineralização das águas do aquífero cristalino à alteração dos silicatos das rochas do embasamento, sobretudo no que se refere aos teores de sódio, cálcio, magnésio e bicarbonato dissolvido.

Do ponto de vista de dureza, PARISOT, (1983 [20]), classifica as água do aquífero sedimentar como *muito moles*, com dureza média de 5,0 mg/l CaCO<sub>3</sub>, e as do aquífero cristalino como *mediamente duras*, com dureza média de 84,26 mg/l CaCO<sub>3</sub>.

Segundo ATENCIO,(1986), nos sedimentos da Formação Itaquaquecetuba ocorrem os sulfetos de ferro, pirita e marcassita, como cimento. A exposição destes minerais a ambiente oxidante acarreta a formação de soluções ácidas que desestabilizam feldspatos, micas e outros minerais pouco resistentes à alteração, precipitando sulfatos de ferro, alumínio, cálcio, magnésio, potássio e sódio. A paragénesis de alteração é semelhante à verificada em fontes termais (alteração argilosa avançada). Este processo favorece a dissolução, nas águas de circulação subterrânea, do SO<sub>4</sub><sup>++</sup>, Fe<sup>++</sup>, Mn<sup>++</sup> e Ca<sup>++</sup>, que passam a ser os solutos predominantes (DINIZ, 1996[21]).

DINIZ, (1996[21]) divide as águas da Bacia Hidrográfica do Rio Baquirivu-Guaçu, Municípios de Guarulhos e Arujá, frente aos padrões dos elementos analisados por este, em dois grupos. No primeiro grupo, as águas têm pH ácido entre 6,2 e 7, e concentração de gás carbônico entre 14 e 50 mg/L, sulfato com média de 19,7 mg/L, resíduo mineral com média de 109,4 mg/L (máximo de 127 mg/L) e cloreto com média de 12,8 mg/L. São, águas de circulação rápida, elevado poder de óxido-redução e com CO<sub>2</sub> atmosférico dissolvido, que pode formar ácido carbônico, segundo a reação de equilíbrio:



Em outro grupo estão águas com pH básico, entre 7,2 e 8,6, sem gás carbônico dissolvido, concentrações de sulfato menores, com média de 8,5 mg/L, resíduo mineral maior, com média de 185 mg/L para o aquífero cristalino e 118 mg/L para o aquífero sedimentar, pouco cloreto, com 4,4 e 2,5mg/L, para o aquífero cristalino e sedimentar, respectivamente, em média. Estas águas possuem longo tempo de residência, estão em equilíbrio com as rochas e sedimentos, são mais mineralizadas e possuem baixo potencial de óxido-redução(DINIZ, 1996[21]).

Nos últimos anos tem se observado um aumento dos casos se aproximando dos extremos de pH dentro da Cidade de São Paulo, com valor mínimo observado de 4,80 e máximo de 8,65.

De acordo com o Relatório de Qualidade das Águas Subterrâneas no Estado de São Paulo 2001-2003 (CETESB-2004[22]), 13% de todos os poços monitorados no Estado de São Paulo apresentam ferro acima dos limites de 0,3 mg/l, em desconformidade com a MS 518.

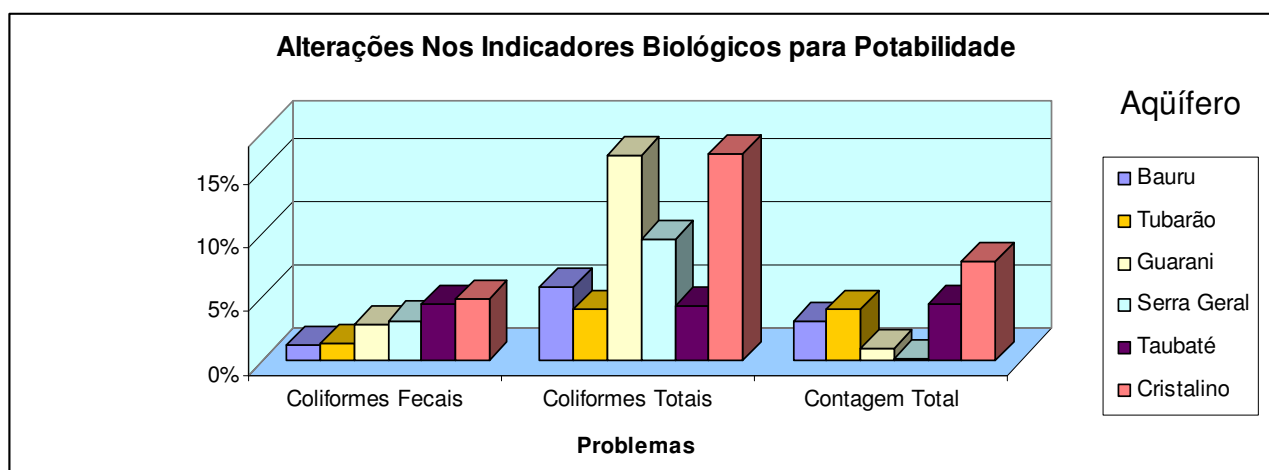
Para todos os casos que chegaram até nós, onde o ferro já se encontrava > 0,3 mg/l, a primeira providência foi a recomendação de desincrustação química dos poços através da utilização de ortofosfatos de características ácidas, isentos de metais pesados, que segundo MARTINS NETTO *et al* (2002[23]) tem a real capacidade de remoção de íons metálicos na Formação Geológica, permitindo uma redução da presença de ferro e manganês na água extraída de um poço.

## 5. ASPECTOS BIOLÓGICOS DA ÁGUA SUBTERRÂNEA NO ESTADO DE SÃO PAULO

De modo geral, as águas subterrâneas apresentam excelente qualidade de potabilidade em termos de indicadores biológicos, como contagem de bactérias, coliformes fecais e totais *Echichirichia coli* (CETESB – 2004[22]).

Ainda segundo CETESB(2004[22]), eventualmente, foram detectadas bactérias acima do valor máximo permitido que é de 500 UFC's (unidades formadoras de colônia) e também a presença de coliformes fecais e totais, quando o padrão de potabilidade é a ausência. A Fig.02 apresenta a porcentagem de ultrapassagens dos padrões de potabilidade para os parâmetros biológicos nos diferentes aquíferos monitorados.

A presença de bactérias em um número percentual de poços que pode ultrapassar 16 % de ocorrência de coliformes totais no aquífero Cristalino, e próximo a 5% para a presença de Coliformes Fecais, reforça a necessidade da cloração de água dos poços, não só para atender a MS 518, mas para preservar a saúde de todos os usuários.



**Figura 2.** Gráfico mostrando o número percentual de poços monitorados pela CETESB –SP, do ponto de vista bacteriológico, impróprios para consumo humano, conforme MS 518.

## 6. PROBLEMAS ASSOCIADOS AO FERRO, CORROSÃO E INCRUSTAÇÕES

De todos os problemas acompanhados pelo autor, 91 % estão relacionados ao ferro e suas incrustações, isto se deve a dois fatores principais:

- 1- a que grande maioria das tubulações dos usuários privados é de aço galvanizado.
- 2- dos problemas de alteração de qualidade de água nos poços, cerca de 50% dos casos encontrados estão relacionados a ferro e manganês, já presentes nos poços.

### 6.1. Corrosão e Incrustação de tubulações

A corrosão é um processo que afeta diretamente a vida útil das tubulações e qualidade da água distribuída. As empresas têm investido em políticas de prevenção, controles dos problemas e processos de redução de corrosão que permitam inclusive a manutenção da qualidade da água.

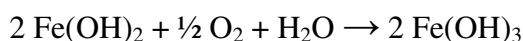
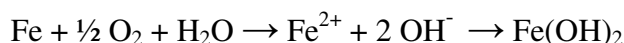


O processo deteriorativo em materiais metálicos se caracteriza pela perda de material através da dissolução (corrosão) ou pela formação de material não metálico (oxidação).

No caso de materiais metálicos, a corrosão é um processo eletroquímico que envolve metais e um eletrólito, composto, de modo geral, das substâncias químicas da água. Este processo geralmente tem início na superfície dos metais, onde ocorre uma reação química com transferência de elétrons de uma espécie química para outra. Este tipo de reação, caracterizada pela perda de elétrons, é chamada de reação de oxidação e está representada a seguir pelo metal M, hipotético, de valência  $n$ .



Porém, um processo eletroquímico é composto de uma reação de oxidação e por uma de redução, sendo que o processo propriamente dito é a soma das duas reações. As reações a seguir exemplificam este processo (CHIESA, 2004[24]).



No caso da corrosão do ferro na água, as reações que ocorrem são as apresentadas anteriormente, sendo que o composto formado é o óxido de ferro, produto conhecido da corrosão, e este gera uma incrustação. Este óxido de ferro é comumente arrastado das tubulações pelo uso da água, e o problema se agrava pelo aumento de velocidade, quando se inicia a utilização de água em um determinado ponto do sistema de distribuição, alterando de forma importante sua qualidade.

O processo corrosivo pode ser acelerado ou até mesmo desencadeado dependendo do meio em que determinado material se encontra (CALLISTER, 1990[25]).

Dados coletados em muitas Empresas têm demonstrado que sistemas de distribuição tidos como estáveis, sem cloração da água, se alteram de forma muito expressiva quando se inicia um processo de cloração, que gera alterações na qualidade da água, e agravamento da corrosão.

Este processo normalmente resulta em aumento dos teores de ferro presentes na água com alterações de cor e turbidez, chegando a descaracterizar a água com potável.

DI BERNARDO, (2000[26]) cita que a presença de ferro e manganês na água distribuída à população causa sérios inconvenientes, tais como: i) mancham roupa, roupas, utensílios sanitários, etc; ii) causam sabor desagradável; iii) interferem em processos industriais iv) podem causar depósitos e incrustações;

Ainda quanto às incrustações, além do problema de contribuir para piorar a qualidade de água, trazem o problema de perda de vazão nas tubulações e aumento do consumo de energia.

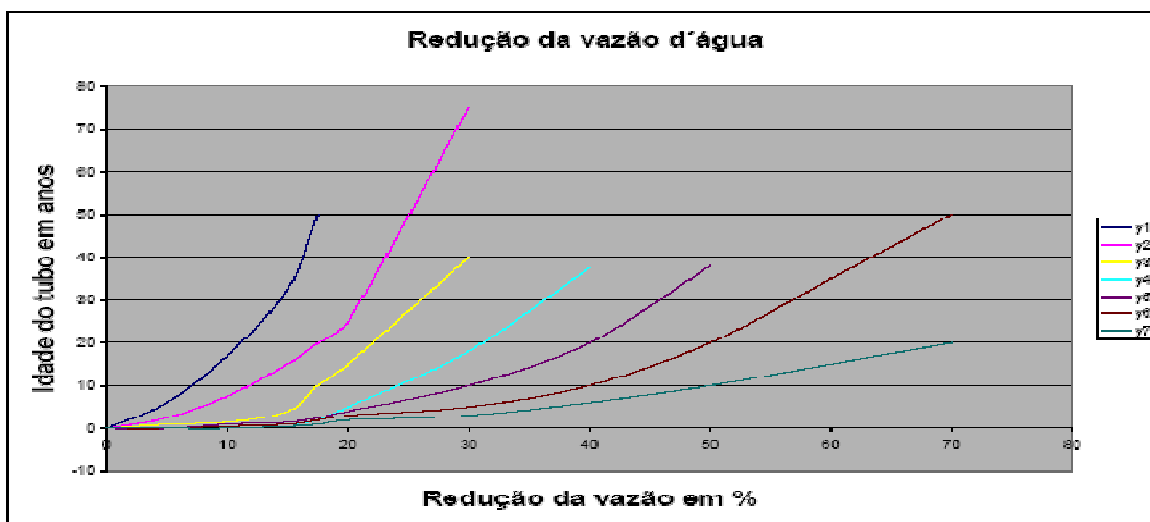
Para entendermos os efeitos da incrustação, temos que nos valer da rugosidade equivalente ( $K$  ou  $\epsilon$ ), que é a altura da rugosidade suposta uniformemente distribuída ao longo de um tubo.

A rugosidade equivalente ( $K$  ou  $\epsilon$ ) é tabelada em função do material do tubo, e a maioria dos livros didáticos dá um valor de  $K$  em  $mm$  de: 0,048 para tubos de aço ou ferro lisos; 0,152 para aço galvanizado e 0,259 para tubos de ferro fundido.

Já para um tubo de aço com levemente enferrujado o valor já sobe para 0,250; com tuberculização de 1,0 a 3,0  $mm$  sobe para 0,9 a 2,4 e para grandes incrustações ou tuberculizações, chegamos a um  $K$  em  $mm$ , de 2,4 a 12,0, ou seja, de 16 a 78 vezes maior do que o  $K$  inicial.

A Fig. 3 mostra a redução percentual de vazão x idade dos tubos, considerando diferentes condições e qualidades de água, onde:

- (y1) → casos extremos de águas pouco agressivas, pequenos nódulos;
- (y2) → água filtrada não arejada e praticamente não corrosiva, leve incrustação geral;
- (y3) → água de poços ou água dura com pequena ação corrosiva e onde existem maiores incrustações com nódulos até cerca de 12mm de altura;
- (y4) → água de regiões pantanosas com vestígios de ferro e com matéria orgânica, levemente ácida, onde as grandes incrustações são de até cerca de 25  $mm$  de altura;
- (y5) → água ácida de rochas graníticas, onde ocorrem incrustações excessivas e tuberculizações;
- (y6) → água extremamente corrosiva ou em pequenos condutos para água doce levemente ácida;
- (y7) → casos extremos de águas muito agressivas.



**Figura 3.** Demonstração gráfica da redução de vazão x tempo x qualidade de água

Estes processos de corrosão e incrustação podem ser detidos com a utilização de ortopolifosfatos, e esta foi a solução encontrada e testada, e que demonstrou excelentes resultados do ponto de vista de solução dos problemas de alteração de qualidade. O ortopolifosfato foi específico para cada caso e aplicado em conjunto com a cloração.

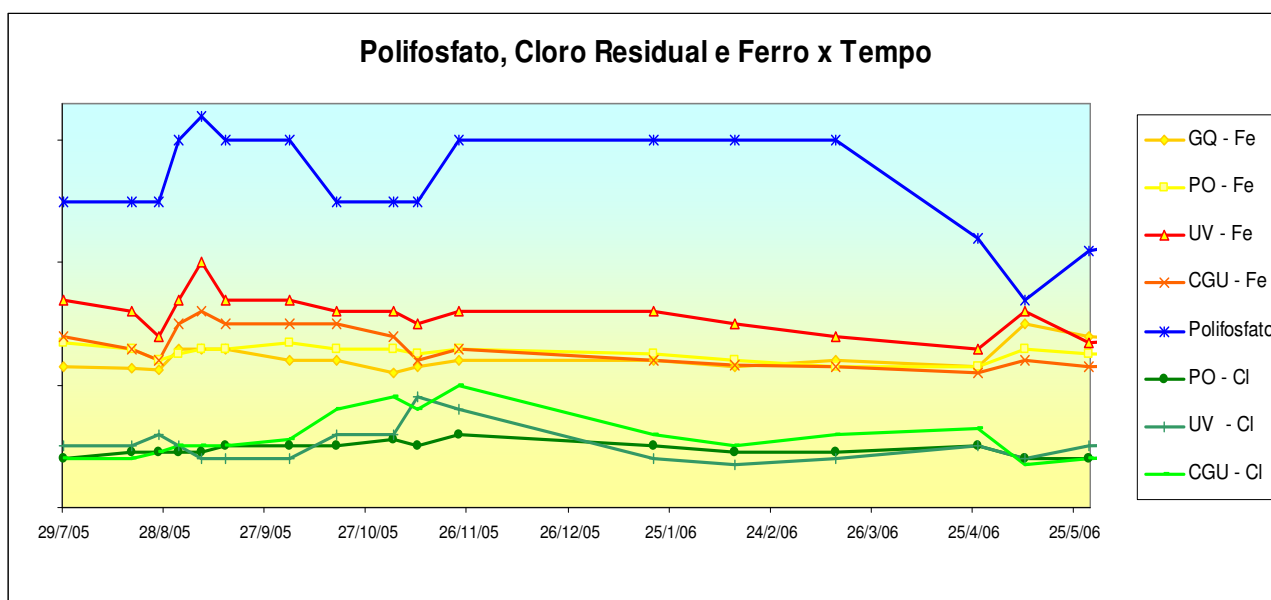
Sua aplicação controlou o excesso de demanda de cloro e os problemas de acréscimo de metais na água, além de que variações de concentração produziram a desincrustação e limpeza das tubulações.

## 6.2 – Resposta de qualidade x controle de corrosão x desincrustação de rede

Um de nossos casos mais importantes, com um grande número de informações, incluindo rigoroso controle de qualidade de água e resultados de cloro livre residual, está relacionado com uma Indústria metalúrgica de grande porte, localizada no Estado de São Paulo, que tem consumo médio de água potável de 30.000 m<sup>3</sup>/mês, e um volume da água industrial muito superior.

Por controle de qualidade e preocupação com os funcionários, o Departamento de Engenharia Industrial, responsável pelo sistema de água potável, já vinha efetuando há bastante tempo a cloração de água, e ao aparecimento dos primeiros sintomas de alteração da qualidade, notados pela elevação da cor e redução de cloro nos pontos finais da rede de distribuição, foram tomadas providências imediatas para solução destes problemas.

A cloração da água é efetuada por técnicos químicos e de saneamento, com rigoroso controle, e a aplicação é estável, utilizando-se hipoclorito de cálcio, e na faixa de 0,7 a 0,9 mg/l.



**Figura 4.** Gráfico demonstrativo de resultados de cloração, cloro residual livre e qualidade de água antes e depois da aplicação de ortopolifosfatos.

Os pontos monitorados, nesta fase, foram em número de 07, e a escala aplicada para melhor visualização foi logarítmica. A observação da Fig. 04 demonstra que a aplicação inicial do ortopolifosfato proporcionou uma rápida redução dos teores de ferro e elevação do cloro residual. A partir desta estabilização inicial se elevou o ortopolifosfato, para uma maior desincrustação na rede, demonstrada pelo aumento do ferro, porém foi mantida a tendência de elevação do cloro final com o mesmo valor de cloro inicial, demonstrando a redução de demanda e menor ataque à rede.

Pontos de final de rede que demonstraram aumento de vazão, e como as pressões são constantes, isto é uma indicação da desincrustação da rede com redução de perda de carga.

Para que a água se mantivesse dentro dos padrões de potabilidade foram feitos ajustes de

dosagem, onde vem se obtendo uma desincrustação gradual da rede, com ferro final abaixo de 0,30 mg/l, redução da cor e demanda de cloro, permitindo mais cloro residual livre e água mais clara.

A redução do ortopolifosfato demonstrou um aumento na demanda de cloro e elevação nos teores de ferro, que foi controlada com novos ajustes de concentração, revertendo o problema.

O departamento de Engenharia Industrial, através de seus Engenheiros e Técnicos, vem monitorando os resultados e efetuando acompanhamento das análises.

### 6.3. Alta cloração x demanda excessiva de cloro

Neste tópico vamos abordar o caso de uma grande Indústria situada a 45 Km a Leste da Cidade de São Paulo, que explora 02 poços tubulares profundos com produção total de água de 30,0 m<sup>3</sup>/h, e consumo médio mensal de 12.000 m<sup>3</sup>, de água potável. Estes poços não apresentavam qualquer anomalia em seus nos parâmetros físico – químicos e bacteriológicos.

A água dos dois poços é destinada a um reservatório central elevado, localizado aproximadamente no centro da Fábrica, que distribui água por gravidade para os pontos de consumo. Nas imediações deste reservatório se encontram os prédios administrativos, e toda a planta dispõe de aproximadamente 90.000 m de tubulações.

O sistema de cloração implantado abrangia toda a água de vestiários e cozinha, porém existiam pontos na produção onde a água não era clorada, e para atendimento das novas normas, já a partir da Portaria 1469 de 2000, o sistema de cloração foi implementado para que a abrangesse toda a instalação industrial.

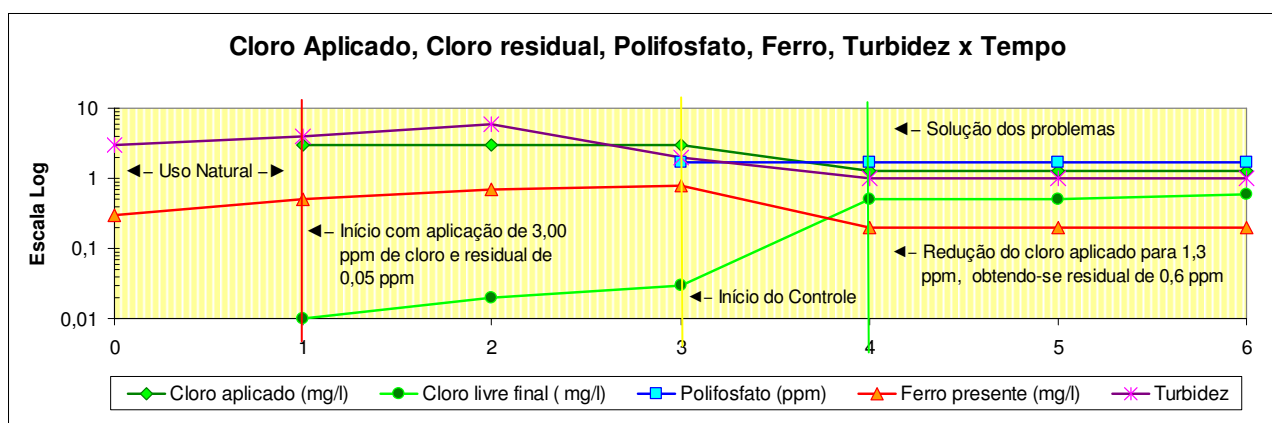


Figura 5. Gráfico demonstrativo de resultados de cloração, cloro residual livre e qualidade de água antes e depois da aplicação de ortopolifosfatos.

A Fig. 5 mostra graficamente os resultados deste processo. A utilização da água sem cloração e demonstrada no intervalo de tempo 00 a 01. A partir do momento 01, onde é iniciada a cloração percebe-se uma forte elevação dos teores de ferro presentes na água distribuída, com conseqüente alteração de turbidez, sendo estes causados pela aplicação do cloro com alterações na qualidade da água e estabilidade das incrustações existentes na rede.

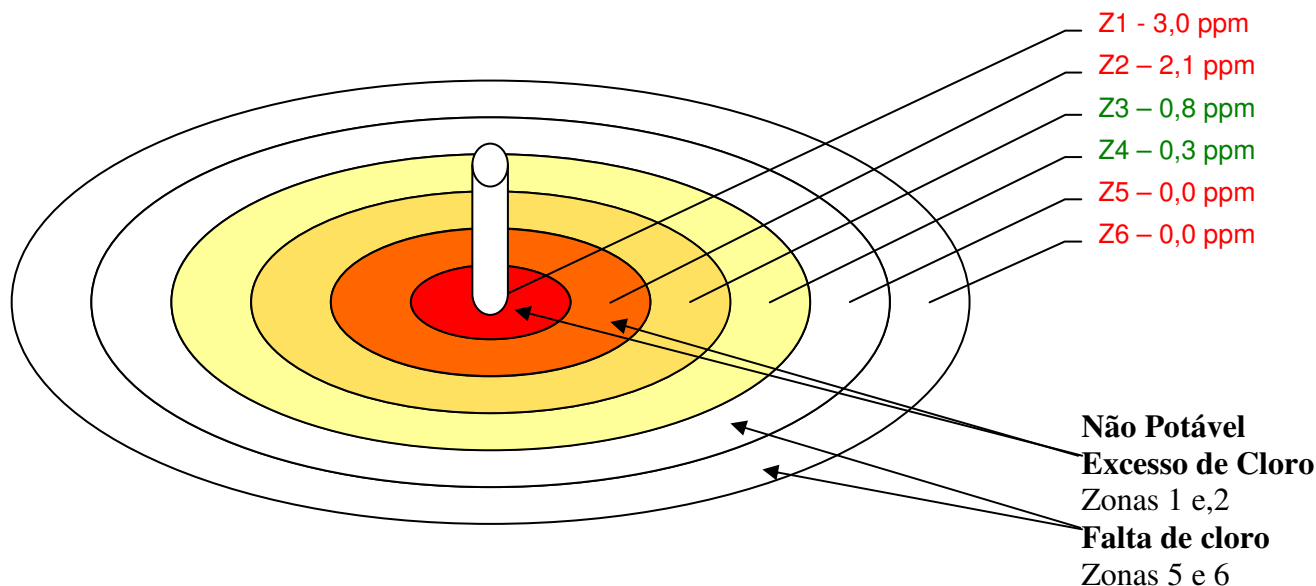
No intervalo 01- 03 a aplicação de cloro foi de 3,0 mg/l sendo medidos valores de 0,05 a 0,00 mg/l de cloro residual livre nos pontos finais de consumo, estando assim abaixo dos limites exigidos pela da MS 518, para água potável para consumo humano, e que representou uma demanda na rede de praticamente 3,0 mg/l (percentualmente 98,34 a 100 % de todo cloro aplicado).

A partir do momento 03, onde se inicia a aplicação conjunta do ortopolifosfato, a qualidade de água se altera rapidamente para melhor, com expressiva redução do ferro e turbidez, além da forte redução da demanda de cloro, possibilitando que a concentração de aplicação fosse reduzida para 1,3 mg/l, onde se obteve um cloro residual de 0,6 mg/l nos pontos finais de consumo, já dentro dos limites exigidos pela MS 518.

A demanda de inicial de cloro na água, era de 3,0 mg/l, ou seja, 429 % maior do que a demanda de 0,7 mg/l, obtida após a correção dos problemas e aplicação do ortopolifosfato.

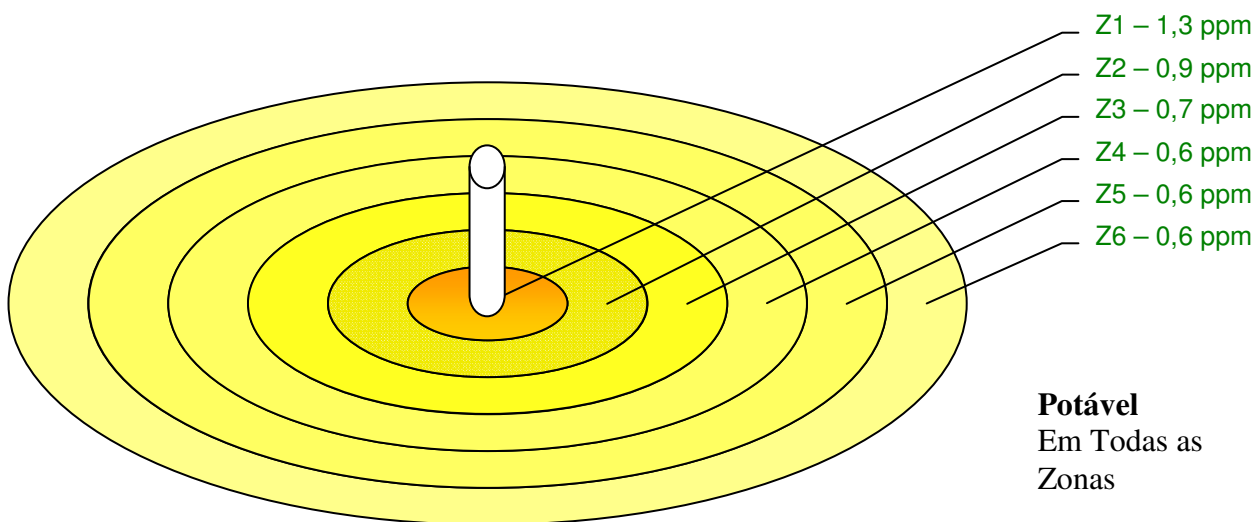
Do momento 04 em diante o problema foi totalmente controlado, com o ferro, turbidez e cloro dentro dos limites de potabilidade. A demanda de cloro passou a ter muito pouca variação, e os resultados de cloro livre final, estáveis e na faixa de 0,6 mg/l, atendem a MS 518.

A demanda excessiva de cloro, além do problema de não se obter água Potável em todos os pontos, trazia ainda o problema de excesso de cloração nos pontos próximos ao reservatório, que conforme demonstrado na Fig. 06. Este excesso de cloro trouxe alterações importantes no ferro, cor e turbidez nas zonas 1 e 2, além de reclamações dos usuários por odor e sabor de Cloro.



**Figura 6.** Início da cloração sem controle da corrosão com demanda excessiva de cloro.

Com o início da aplicação do ortopolifosfato, e redução da demanda de cloro o problema do excesso foi solucionado, permitindo uma melhor distribuição do cloro em toda a Fábrica, Fig. 07, sem alteração de ferro e turbidez.

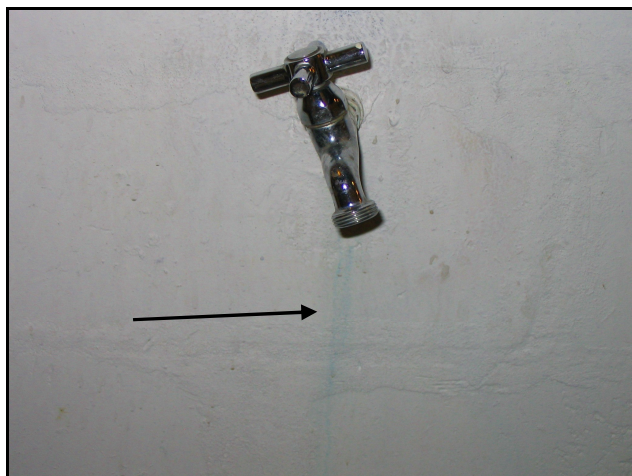


**Figura 7.** Estabilização do cloro atendendo a M 518, e sem os problemas de excesso localizado.

## 7. PROBLEMAS ASSOCIADOS À TUBULAÇÕES DE COBRE

Os problemas que ocorrem em segundo lugar, cerca de 7% dos casos estudados, estão relacionados com o Cobre.

Este problema normalmente é notado pelo aparecimento de manchas azuis esverdeadas em vazamentos (Fig.08 e 09), louças sanitárias, pisos, roupas e alteração da cor da água para os mesmos tons, notada em banheiras e recipientes claros, quando cheios de água.



**Figura 08** - Pequeno vazamento em torneira, marcando a parede em tons azulados onde a houve percolação de água.



**Fig. 09** – Torneira externa de jardim, onde a ponta da tubulação de cobre foi exposta á chuva, e mostra forte agressão.

Este cobre presente na água final, não provém dos poços, pois em todos os casos os poços produzem água com cobre abaixo do limite máximo de 2,0 mg/l estipulado pela MS 518. O fato observado é o acréscimo deste metal pelo contato da água com as tubulações de Cobre, resultando em uma água final enriquecida com o metal.

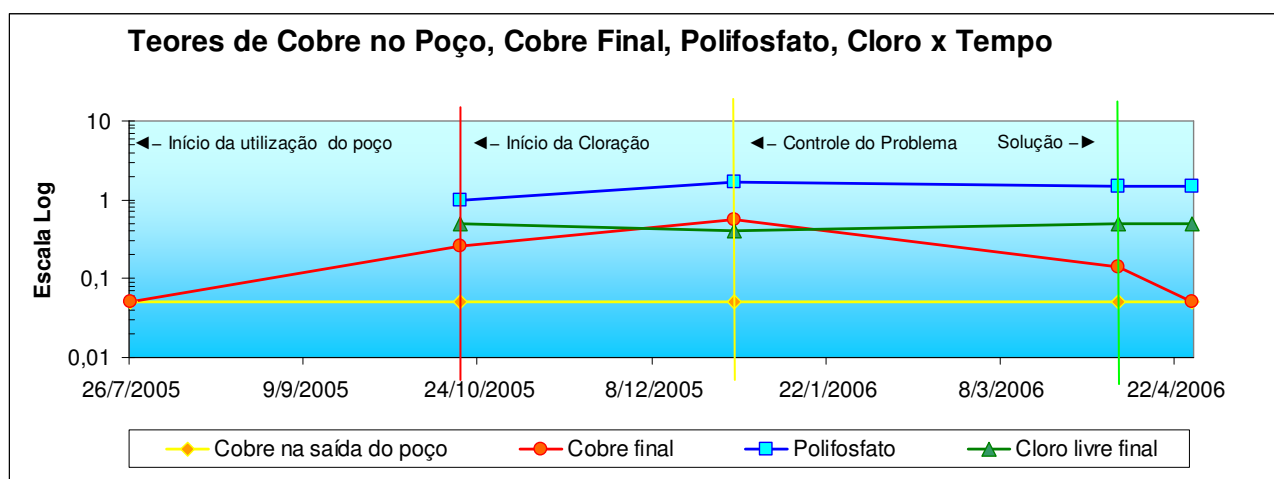


No primeiro caso estudado em 2001, foram realizadas diversas de análises de água e testadas várias combinações e produtos (ortopolifosfatos, polifosfatos, silicatos e outros), e neste caso, onde a saída do poço mostrava 0,11 mg/l, chegou-se a um resultado de Cobre na água nos pontos finais de consumo, de 0,18 mg/l, com acréscimo de 0,07 mg/l de cobre, sendo a água do poço clorada.

Por se tratar do primeiro caso analisado, optou-se por paralisar o poço e operar o sistema por 60 dias com água do sistema público de abastecimento, sendo medido o cobre semanalmente, para que os resultados fossem comparados com a utilização do poço.

Os teores de Cobre nos pontos finais de consumo com a utilização do sistema público foram praticamente os mesmos obtidos com a utilização do poço, e assim o caso foi resolvido.

Esta formulação inicial dos agentes utilizados foi colocada à prova e aperfeiçoada ao longo dos anos, e chegou-se a uma combinação muito eficiente, que vem sendo aplicada em todos os novos casos encontrados.



**Figura 10.** Gráfico de resultados do cobre inicial x final x cloração x aplicação de ortopolifosfato

A Fig. 10 mostra que no início da utilização de um poço onde os teores de cobre na água final já vinham se elevando, e a partir do início da cloração estes problemas se agravaram, com um pico em 29.12.05, onde o cobre atingiu um valor 10 vezes superior ao da saída do poço. Juntamente com a cloração foi introduzido um ortopolifosfato específico para os casos de Cobre, elaborado em parceria com Indústria Química do Paraná, e após 70 dias do início da aplicação o problema foi estabilizado. Em Abril de 2006, os resultados de cobre presentes na água final de consumo eram os mesmos da saída do poço, que determina a solução do problema.

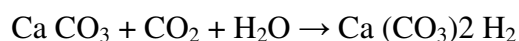
## 8. PROBLEMAS ASSOCIADOS AO CÁLCIO E MAGNÉSIO

Em terceiro lugar em número de problemas observados, cerca de 2%, estão os relacionados com

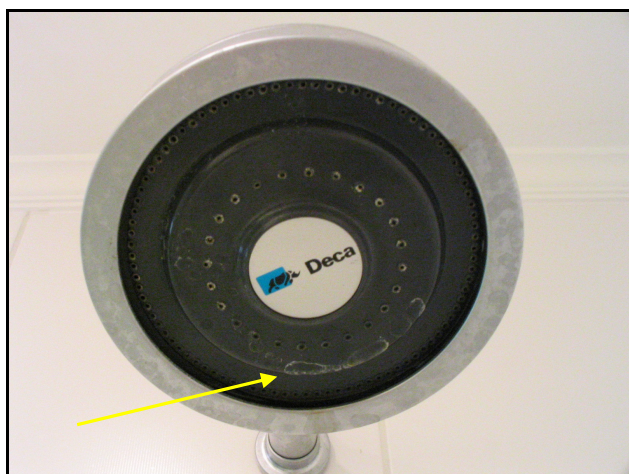
cálcio e magnésio, e seus precipitados. Foi notado um aumento significativo dos problemas, após o início da cloração da água, em usuários que não cloravam.

Apesar de termos água com durezas médias a baixas, na RMSPE e proximidades, no aquífero cristalino, tem se observado casos de aparecimento de pequenas incrustações, na forma de manchas esbranquiçadas em chuveiros e utensílios de cozinha.

O teor de cálcio nas águas subterrâneas varia, de uma forma geral, de 10 a 100mg/L. 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 CO<sub>2</sub>. Por sua vez a quantidade de CO<sub>2</sub> 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, e com a seguinte reação:



O magnésio é um elemento cujo comportamento geoquímico é muito parecido com o do cálcio e, em linhas gerais, acompanha este elemento. Diferentemente do cálcio, contudo, forma sais mais solúveis. Os minerais mais comuns fornecedores de magnésio para as águas subterrâneas são: biotita, anfibólios e piroxênios. Estes minerais são mais estáveis diante do intemperismo químico, do que os minerais fornecedores de cálcio, por isso seu teor nas águas subterrâneas é significativamente menor do que aquele. Em região de rochas carbonáticas, o mineral dolomita é um importante fornecedor de Mg. Nas águas subterrâneas ocorre com teores entre 1 e 40mg/L.



**Figura 11** – Chuveiro mostrando pequenas manchas esbranquiçadas, após alguns meses de utilização do poço.



**Fig. 12** – Utensílio de cozinha com marcas de precipitação, após fervura contínua de água.



O Aparecimento dos precipitados, que apesar de provirem de uma água que atende os padrões de Potabilidade da MS 518, traz o inconveniente do aspecto externo das peças atingidas ( Fig. 11 e 12). A aplicação de ortopolifosfato foi indicada pois ele atua positivamente na estabilidade do Cálcio e Magnésio, permitindo uma maior solubilidade e menor precipitação, reduzindo assim os problemas, além de que aumento na concentração de dosagem, causa uma desincrustação.

## **9. PRODUTOS UTILIZADOS**

### **9.1 – Ação dos Ortopolifosfatos**

A ação de controle de demanda de cloro, anti-corrosiva e anti-incrustante e desincrustante dos produtos utilizados neste trabalho, baseia-se na complexação dos íons metálicos, estabilização da água do ponto de vista de corrosão e incrustação, e pela formação, nas tubulações de ligas metálicas, de uma micropelícula monocelular de fosfato ferroso, que protege estas tubulações da agressão natural da água, e principalmente quando esta é agravada pela adição de um oxidante como o cloro.

A variação nas concentrações de polifosfatos e ortofosfatos de um ortopolifosfato, traz diferentes resultados de complexação dos metais e desincrustação das redes, e assim foram desenvolvidas pelo fabricante, as formulações que foram aplicadas, de acordo com a necessidade de cada usuário, principalmente para os casos de cobre e cálcio/magnésio.

### **9.2 – Qualidade dos Produtos**

Para total segurança nas aplicações, foi exigido do Fabricante dos ortopolifosfatos, que todas as formulações atendessem a NBR 15007 (ABNT, 2004[27]), e que o produto tivesse Certificado de aprovação junto ao Instituto Adolfo Lutz – SP, Teste de "Ames" e Micronúcleo, além de outros Certificados de Laboratórios Privados e de Qualificação / Fornecimento de três Empresas Estaduais de Saneamento.

### **9.3 – Benefícios associados**

Além da solução dos problemas encontrados, foram notados benefícios associados á utilização dos ortopolifosfatos, nos casos relatados e em outros, que compreenderam a redução da incrustação, limpezas das redes, redução da formação de precipitados nas torres de refrigeração, redução do consumo de energia em sistemas de aquecimento e refrigeração, e aumento de vazão.

Nos casos em que foram encontradas ferro-bactérias, observou-se a inibição do crescimento destas, que causam sérios transtornos de incrustações e aumento de corrosão, com crescimento rápido do biofilme na rede e em reservatório, além de fortes alterações de qualidade de água.

A ação dos ortopolifosfatos, nestes casos, se explica pelo fato destes microorganismos serem quimiotróficos, tirando a energia para sua existência da transformação de  $Fe^{++}$  em  $Fe^{+++}$ , e assim a mudança dos íons de  $Fe^{++}$  para moléculas complexas, gerada pela aplicação do ortopolifosfato, impede transformação para  $Fe^{+++}$ , limitando sua alimentação e crescimento.

## 10. CONCLUSÕES

A aplicação de compostos de cloro na água, para controle bacteriológico e atendimento da MS 518 tem demonstrado que pode trazer problemas associados com as redes de distribuição de sistemas alternativos, alterando os parâmetros físico-químicos da água final distribuída, até o ponto de torná-la imprópria para o consumo humano, de acordo com a MS 518.

Os problemas estão em sua grande maioria relacionados com o ferro e suas incrustações (cerca de 91 % dos casos), seguido em menor proporção dos problemas com tubulações de cobre (7 % dos casos) e precipitados de cálcio e magnésio (2 % dos casos).

A aplicação de Ortopolifosfatos específicos demonstrou grande capacidade de controle dos problemas associados, resolvendo os eventos de alteração de qualidade da água por problemas de corrosão, dissolução de incrustação e incrustação, relacionados com a cloração de água.

Os problemas de demanda excessiva de cloro também foram solucionados com aplicação de ortopolifosfatos, que demonstrou grande eficiência, com redução de até 76,77 % na demanda, permitindo assim uma menor cloração inicial, com uma resposta de mais cloro livre e menos agressão às tubulações, melhorando a qualidade de água final e a capacidade de desinfecção do cloro.

Como estamos tratando de água potável, foi exigido do Fabricante dos ortopolifosfatos utilizados, Certificados de aprovação junto ao Instituto Adolfo Lutz – SP, Teste de "Ames" e Micronúcleo, outros dois Certificados de Laboratórios Privados, Certificado de isenção de metais Pesados e demais parâmetros de acordo com a Norma ABNT de – NBR 15007(ABNT, 2004[27]), além de Certificados de Qualificação e Fornecimento de três Empresas Estaduais de Saneamento, que foram a SABESP – SP, COPASA – MG e SANEPAR – PR.

## 11. BIBLIOGRAFIA

- [1] ZOBY, J.L.G. & MATOS, B. Águas subterrâneas no Brasil e sua inserção na Política Nacional de Recursos Hídricos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 12., Florianópolis, 2002. Florianópolis: ABAS, 2002.CD-ROM.
- [2] MARTINS NETTO, J.P.G.; DINIZ, H.N.; JOROSKI, R.; OKAMOTO, F.S.;FRANÇA, V.C.Ç TANAKA, S.E.; SILVA, V.H.A. A ocorrência de fluoreto na água de poços da Região

- Metropolitana de São Paulo e novas tecnologias para sua remoção. In: Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, 13., Cuiabá, 2004. Cuiabá: ABAS, 2004. CD-ROM.
- [3] COSTA, W.D. Riscos potenciais e reais decorrentes da super-exploração das águas subterrâneas no Recife – PE. In: Congresso Mundial Integrado de Águas Subterrâneas, 1., e Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, 11., Fortaleza - CE, 2000. ABAS/AHLSUD/IAH, 2000.CD-ROM.
- [4] INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Pesquisa Nacional de Saneamento Básico - 2000. Rio de Janeiro: IBGE, 2002. CDROM.
- [5] BRASIL. Ministério da Saúde. Estabelece os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, e dá outras providências. Portaria n. 518, de 25 de março de 2004.
- [6] IPT - Mapa Geológico do Estado de São Paulo. Escala 1:500.000. Volume 1. Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. São Paulo. 1981. 126p.
- [7] RICCOMINI, C.; COIMBRA, A.M. 1992. Geologia da Bacia Sedimentar. In: Mesa Redonda - Solos da cidade de São Paulo. Associação Brasileira de Mecânica dos Solos - Núcleo Regional de São Paulo, Associação Brasileira de Geologia de Engenharia, Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. IPT, São Paulo, p. 37-94.
- [8] RICCOMINI, C. 1989. O Rift Continental do Sudeste do Brasil. Tese de doutoramento, Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo, São Paulo, 256p.
- [9] LEINZ, V.; CARVALHO, A.M.V., 1957. Contribuição à geologia da Bacia Sedimentar de São Paulo: São Paulo. Boletim da Fac. Fil. Ci. Le. USP, São Paulo, (205): 1-61 (Geologia, 15).
- [10] WERNICK, E. 1966. Análise granulométrica dos sedimentos da Bacia de São Paulo. Revista Engenharia Mineração e Metalurgia, Rio de Janeiro, fev. 1966, 43(254): 63-68.
- [11] COZZOLINO, V. M. N. 1972. Tipos de sedimentos que constituem a Bacia de São Paulo. Tese de doutoramento, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 116p.
- [12] SUGUIO, K; COIMBRA, A. M.; CATTO, A. J. 1972. Estudo comparativo dos sedimentos e rochas cristalinas circundantes da Bacia de São Paulo. 26º Congresso Brasileiro de Geologia, Belém. Anais... Belém, SBG, 1972, v.1, p. 141-152.
- [13] ABGE - Associação Brasileira de Geologia de Engenharia. 1980. Aspectos Geológicos e Geotécnicos da Bacia Sedimentar de SP. Sociedade Brasileira de Geologia, São Paulo, 190 p.
- [14] TAKIYA, H. 1991. Aplicação de métodos quantitativos espaciais a dados geológicos da Bacia de São Paulo. Dissertação de mestrado, Instituto de Geociências da USP; São Paulo-SP, 109p.
- [15] TAKIYA, H.; PELOGGIA, A.V.G.; TOKUTAKE, L.R.; CAMPOS, J.E.; OGAWA, A.T.; KOGA, H.; MISAWA, W.J.; RICCOMINI, C. 1989. Arcabouço estrutural da Bacia de São

- Paulo. In: Workshop - Geologia da Bacia de São Paulo. São Paulo, Coletânea de Comunicações, IG-USP/SBG-SP, p.16-27.
- [16] CAMPOS, H.C.N.S. 1994. Situação dos recursos hídricos subterrâneos e superficiais no litoral norte, bacia do Paraíba e Mantiqueira Paulista (SP). 8o Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, ABAS/DNPM/CPRM. Anais... Recife, dez. 1994, v.1, p.60-69.
- [17] REBOUÇAS, A.C. 1992. Condições de uso e proteção das águas subterrâneas. In: Problemas Geológicos e Geotécnicos na RMS, Seminário, ABAS/ABGE/SBG-SP, 1992, p.77-87.
- [18] DAEE - DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA. 1975a. Estudo de águas subterrâneas - Região Administrativa 1 - Grande São Paulo. Encibra S.A. Est. e Proj. de Engenharia/Tahal Consulting engineers Ltd, DAEE, São Paulo, 1975, v.1, texto, 220p.
- [19] DAEE - DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA. 1975b. Estudo de águas subterrâneas - Região Administrativa 1 - Grande São Paulo. Encibra S.A. Est. e Proj. de Eng./Tahal Consulting Engineers Ltd, DAEE, São Paulo, outubro/1975, v.2, anexos, 179p.
- [20] PARISOT, E. H. 1983. As águas subterrâneas no centro-oeste do Município de São Paulo- Características hidrogeológicas e químicas. Dissertação de mestrado, Instituto de Geociências da USP, São Paulo, 193p.
- [21] DINIZ, H. N., Estudo Do Potencial Hidrogeológico Da Bacia Hidrográfica Do Rio Baquirivunguçu, Municípios de Guarulhos e Arujá, SP; Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo, 1996, 176p.
- [22] CETESB - Relatório de Qualidade das Águas Subterrâneas no Estado de São Paulo – 2001 - 2003. Série Relatórios. CETESB.211 p.:il São Paulo.2004
- [23] MARTINS NETTO, J.P.; 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... 12o Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, ABAS/DNPM/UFSC-PPGEA, 2002, Florianópolis, p.190.
- [24] CHIESA, F.; JOROSKI, R.; TRINDADE, E.M.; LOMBARDI, S. C.; WILHELM, H. M.; GOMES, A. L; DEGER, C. A., 2004, Avaliação do Desempenho de Solução Aquosa Desincrustante e Anticorrosiva em Sistemas de Trocadores de Calor em Usinas de Geração de Energia . Congresso Brasileiro do Corrosão, Rio de Janeiro, 2004 – CONBRASCORR – CD.
- [25] CALLISTER, W. D. Jr., Materials Science and Engineering An Introduction, Ed. John Wiley & Sons, Inc., 2a Edição, 1990.
- [26] DI BERNARDO, L, 2000 Seminario Taller -Selección de Tecnología para el Mejoramiento de la Calidad de Agua, Octubre de 2000 - Santiago de Cali, Colombia.
- [27] ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnica, 2004, NBR 15007 -1,2 e 3, Produtos a Base de Ortopolifosfatos em Sistemas de Água Potável, Rio de Janeiro- RJ, 48 p.