

A UTILIZAÇÃO DE ÁCIDOS ORGÂNICOS COMBINADOS NA LIMPEZA E RECUPERAÇÃO DE POÇOS TUBULARES INCRUSTADOS: O EXEMPLO DE TIETÊ (SP)

Eugênio Pereira¹

1. Resumo: A combinação de ácidos orgânicos fracos e componentes catalisadores balanceados quimicamente possibilitou a remoção de depósitos de Ferro, Manganês e Carbonatos capazes de obstruir o fluxo das águas subterrâneas para o interior dos poços de captação. Por sua eficiência, acabou transformando-se em metodologia de tratamento químico voltado especialmente para trabalhos de manutenção e recuperação de Poços Tubulares. O exemplo do Município de Tietê (SP), onde o SAMAE conseguiu recuperar 101 m³/h em sua produção através do tratamento químico de 3 poços, vem demonstrar a efetividade desta proposta.

Palavras-chave: incrustação, acidificação, ácidos orgânicos

2. INTRODUÇÃO

2.1. HISTÓRICO RECENTE

A presença de sais minerais incrustantes nas águas subterrâneas, que se depositam em filtros, pré-filtros, revestimentos, nas paredes de furos não revestidos, além de bombas submersas e tubulações edutoras, é fato comum em quase todas as regiões do país. Os rebaixamentos dos níveis com conseqüentes diminuições de vazões específicas, muitas vezes com estreitamento dos diâmetros úteis dos poços, levaram no passado proprietários e perfuradores a imaginarem que a água do subsolo se esgotara ou que os poços estavam se colapsando. Com o advento das câmeras de filmar poços pôde-se finalmente ver o que estava acontecendo: filtros, pré-filtros, fraturas e aquíferos

¹ Geólogo da CASA DO PERFURADOR LTDA., Rua Guajarás, 393, São Paulo (SP), fone/fax: (011) 6951-4242

sedimentares consolidados não revestidos incrustados na maior parte das vezes e portanto com sua permeabilidade bloqueada. A água logicamente continuava lá, mas seu aspecto químico se transformaria na peça chave para se definir o plano de manutenção e recuperação de tais poços.

2.2. TRATAMENTOS QUÍMICOS COMO SOLUÇÃO

A experiência demonstra que problemas de origem química devem ser resolvidos quimicamente.

Daí o fato de que a utilização de recursos mecânicos devam servir como auxiliares para tratamentos químicos que visem a recuperação de vazões em poços incrustados e não o contrário.

O perfeito entendimento de processos e reações químicas, tanto na formação das incrustações como em sua remoção, é fundamental para saber como agir em cada caso. As concentrações dos produtos químicos utilizados e o tempo de tratamento são variantes importantes e devem ser programados de acordo com a avaliação prévia feita pelo técnico sobre o estado em que se encontra o poço. O monitoramento do pH durante o tratamento, por exemplo, é fundamental para que as reações ocorram como veremos mais tarde.

2.3. O USO DE COMPONENTES NÃO TÓXICOS

Quando se fala em utilizar ácidos orgânicos aditivados propõem-se aliar substâncias de caráter efetivamente desincrustantes ao fato destas serem oriundas de fontes naturais, inofensivas a saúde e ao meio ambiente. A facilidade em sua aplicação é outro ponto importante, já que não atacam os metais por serem ácidos orgânicos considerados fracos (a potencialização provem de aditivos que funcionam como catalizadores) e possuem componentes inibidores de corrosão. Este fato permite até a opção de se fazer uma manutenção sem se retirar a bomba submersa quando não há necessidade disto.

O exemplo da cidade de Tietê no interior paulista servirá como modelo para demonstrar a efetividade desta metodologia.

3. OS MECANISMOS DAS INCRUSTAÇÕES

3.1. A QUALIDADE INICIAL DAS ÁGUAS

A partir do momento em que as águas de chuvas contendo dióxido de carbono, oxigênio, material particulado (poeira e organismos), e outras espécies dependendo da

localização geográfica (cloretos nas regiões litorâneas, enxofre em regiões industriais) penetram no solo, passam a interagir com os subprodutos das intempéries presentes e posteriormente, em seu caminho subterrâneo, com os elementos solúveis das rochas. Na realidade, a qualidade química das águas subterrâneas é resultado da composição original das águas meteóricas, do tipo de solo e rocha presentes na zona saturada e não-saturada, tempo de circulação, clima e biota (Hirata, 1995).

A T M	REAÇÕES	H ₂ O + CO ₂ → H ₂ CO ₃ (ácido carbônico) H ₂ O + SO ₄ → H ₂ SO ₄	
		SEQ. SILICÁTICAS	SEQ. CARBONÁTICAS
N Â O - S A T U R A D A	1. Dissolução e redistribuição de gases 2. Ácido-base 3. Oxid. de sulfetos 4. Dissoluç. e Oxidação de matéria orgânica 5. Precipitação gypso 6. Sorção de complexos orgânicos-metálicos 7. Troca iônica	2. aluminossilicatos+2H+H ₂ O= cations+H ₂ SiO ₃ +min. secund.	1. H ₂ O + CO ₂ → H ₂ CO ₃ 2. carbonatos + H=Ca+HCO ₂ 4. CH ₂ O + 2O = CO ₂ + H ₂ O 5. CaSO ₄ .2H ₂ O = Ca+SO ₄ +2H ₂ O 7. cátion1+cátion2-X = cátion2+cátion-X
S A T U R A D A	1. Ácido-base 2. Dissolução de sais 3. Oxidação-redução 4. Troca catiônica	1. min. silicát.+H=cations+H ₂ SiO ₃ aluminossilic+H=cations+H ₂ SiO ₃ + +min. secundários 2. (halita, anidrida, gypso, carnalita, silvita, etc)	2. carbonatos+H=Ca+HCO ₃ 3. oxidação de metais, carbono 4. cátion1+cátion2-X = cátion2 + cátion-X

Quadro 1. Síntese das principais reações químicas (somente alguns exemplos) (Hirata, 1995)

soluto – soluto		gás-água			
soluto – água					
<----->		hidrólise ions		multivalentes	
<----adsorção		desadsorção		polimerização ----->	
		<----->		Equilíbrio ----->	
				mineral-água	
				<----->	
				recristalização ----->	
				mineral	
segundos	minutos	horas	dias	meses	anos 10⁶ anos

reação de meia vida

Quadro 2. Tempo das reações químicas mais comuns no sistema hidrológico (Domenico & Schwartz 1990)

O Quadro 1 apresenta as principais reações químicas que ocorrem nos diversos ambientes hidrogeológicos (atmosfera, zona não-saturada e saturada) levando-se em consideração o tipo rochoso. O Quadro 2 mostra os tempos de reações comuns no sistema hidrogeoquímicos. Pelo tempo descrito podemos dizer que encontramos equilíbrio na composição química das águas em geral — o tempo entre a recarga e a descarga é maior do que o tempo das reações. Isto também significa que modificações nos regimes de bombeamento e vazões extraídas podem causar alterações significativas nas concentrações salinas das águas — ou seja, águas diferentes, podendo acarretar problemas, sendo as incrustações um dos mais comuns.

3.2. CAUSAS DAS QUEDAS DE VAZÕES

Pode-se resumir as causas de decréscimo de vazão de um poço em três fatores:

- I. Falta de recarga do aquífero captado
- II. Interferência entre poços próximos
- III. Problemas relativos a parte construtiva do poço

Neste artigo objetivamos abordar somente o terceiro caso.

3.3. A ORIGEM DA INCRUSTAÇÃO QUÍMICA

A principal responsável pela queda de vazão de um poço ao longo do tempo, no que tange a sua estrutura interna, é a incrustação química. Podemos defini-la como sendo a deposição química dos sais precipitados da água subterrânea ou então a deposição de íons ferro provindos da corrosão eletrolítica e/ou da ação de ferro-bactérias.

Os elementos minerais solúveis presentes nas águas subterrâneas precipitam-se por diversas razões: oxidação, mudança de pressão, temperatura e pH. Se a condição de equilíbrio é bastante delicada, a quantidade de substâncias minerais presentes na solução é a que a condição permite. As razões relacionadas acima serão os fatores de desestabilização que causarão incrustações.

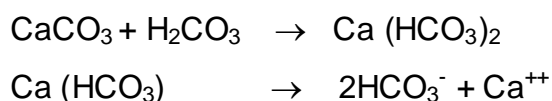
3.4. TIPOS DE INCRUSTAÇÕES QUÍMICAS

As incrustações apresentam-se como um preenchimento selador bastante duro, quebradiço e extremamente aderido a superfície incrustada (Johnson, 1972). As principais incrustações são as seguintes:

- I. Depósitos de carbonatos de cálcio ou magnésio, de seus sulfatos, da sílica e alumínio que agem como cimentantes .
- II. Depósitos de óxidos e hidróxidos de ferro ou manganês precipitados quimicamente ou por ação eletrolítica.
- III. Depósitos de hidrato férrico e limo precipitados por ferro-bactérias (neste caso a substância seladora é gelatinosa)

3.5. A ORIGEM DOS CARBONATOS NAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

As águas meteóricas são levemente ácidas pela dissolução de CO₂ (dióxido de carbono) formando H₂CO₃ (ácido carbônico). Estas águas levemente corrosivas podem percolar formações geológicas ricas em rochas calcárias e/ou metacalcários e/ou sedimentos carbonatados e através da dissolução do CaCO₃ ou MgCO₃ (insolúveis) formar-se-ão os íons bicarbonatos HCO₃⁻ (solúveis), liberando os cátions Ca e Mg causadores da dureza como vemos nas reações:



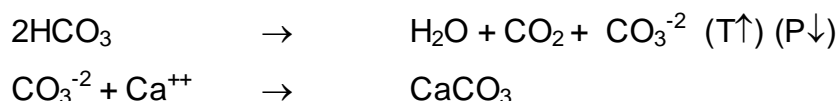
3.5.1. Incrustações por Carbonatos

As incrustações por carbonatos relacionam-se com a dureza da água subterrânea. A dureza provem dos cátions cálcio e magnésio que se originam dos sais bicarbonatos e carbonatos de cálcio e magnésio (representam a dureza de carbonatos), sulfatos de cálcio e magnésio, cloretos de cálcio e magnésio e nitratos de cálcio e magnésio (dureza de não-carbonatos).

O equilíbrio da solução contendo os cátions Ca e Mg, e os ânions correspondentes, é perturbado resultando daí carbonatos e por vezes sulfatos que constituem-se nos sais mais insolúveis.

3.5.2. A Influência da Temperatura e Pressão nas Incrustações

Estabelecida a dureza da água as condições de equilíbrio poderão ser alteradas pela temperatura:



Como se vê, os íons Ca^{++} e HCO_3^- solúveis na água mudarão rapidamente para CaCO_3 insolúvel com o aumento da temperatura e redução da pressão total sobre a água. Esta queda de pressão também diminui a pressão parcial do dióxido de carbono, isto é, sua volatilização. Com a conseqüente redução na acidez, o pH aumenta ocorrendo o que descreveremos a seguir e é fundamental neste texto.

3.5.3. A Influência do pH nas Incrustações

No processo de acidificação da água temos a dissolução dos carbonatos insolúveis transformados em íons bicarbonatos 2HCO_3^- e Ca^{++} solúveis. Se por qualquer motivo ocorrer uma diminuição dos íons H^+ , ou seja, a reação de retorno de bicarbonato para carbonato, isto significará um aumento de pH e induzirá a precipitação de Ca (mais rápida) e Mg (mais lenta) contribuindo para as incrustações. As variações de pH ocorrem por causa da pressão e temperatura como já vimos, mas é importante ressaltar que a oxidação das tubulações de Fe dentro dos poços e rede produz aumento de pH em uma capa laminar de água em contato com o metal. Se a água for dura haverá incrustações.

Os poços que captam águas superficiais contarão também com a matéria orgânica em decomposição acidificando a água, provocando por conseguinte aumento de dureza e de incrustações.

3.6.. INCRUSTAÇÃO – CORROSÃO ELETROLÍTICA

Devemos lembrar que existem incrustações associadas a corrosões eletrolíticas. Estas corrosões se dão em revestimentos metálicos e tem ação local, no caso de ocorrer na superfície de mesmo metal, e ação galvânica no caso de dois metais diferentes (filtros e revestimento, por exemplo).

A Fig. 1 demonstra um caso típico de corrosão eletrolítica segundo Clark (1980) envolvendo áreas anódicas e catódicas de uma

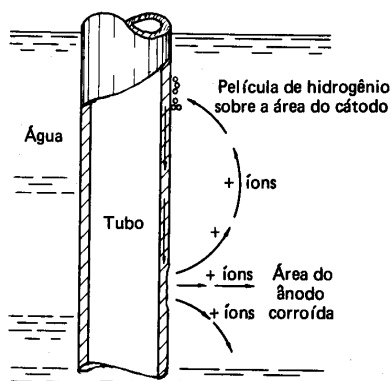


Fig. 1. Corrosão Unimetalica

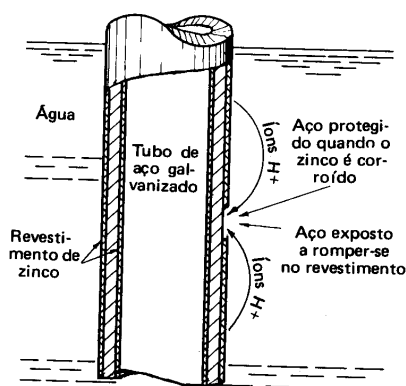


Fig. 2. Corrosão Bimetálica

superfície unimetalica. A Fig. 2 (Clark, 1980) demonstra corrosão em uma superfície bimetálica onde a película de zinco que envolve a tubulação galvanizada é sacrificada para assegurar a proteção galvânica ao aço.

O processo de corrosão eletrolítica pode ser intensificado pela presença de ferro-bactérias que podem utilizar o Fe^{+2} do ferro corroído e precipitá-lo como hidrato férrico ao redor de suas células e não diretamente no metal (fig. 3). Desta forma, as ferro-bactérias mantêm o potencial elétrico entre o ânodo e o cátodo, intensificando a corrosão e a conseqüente incrustação (Smith 1980). Os hidratos de Fe gerados pelas ferro-bactérias também criam microambientes anaeróbicos apropriados para o crescimento de bactérias redutoras de sulfetos responsáveis pela corrosão dos metais através da produção de ácido sulfúrico. A formação de tubérculos de hidrato de Fe endurecido de coloração clara (destaque da fig. 3) pode comumente ser observado em perfisagens óticas realizadas em poços de revestimento metálico nos quais foram detectados as presenças de ferro-bactérias (esta é a razão dos tons esbranquiçados).

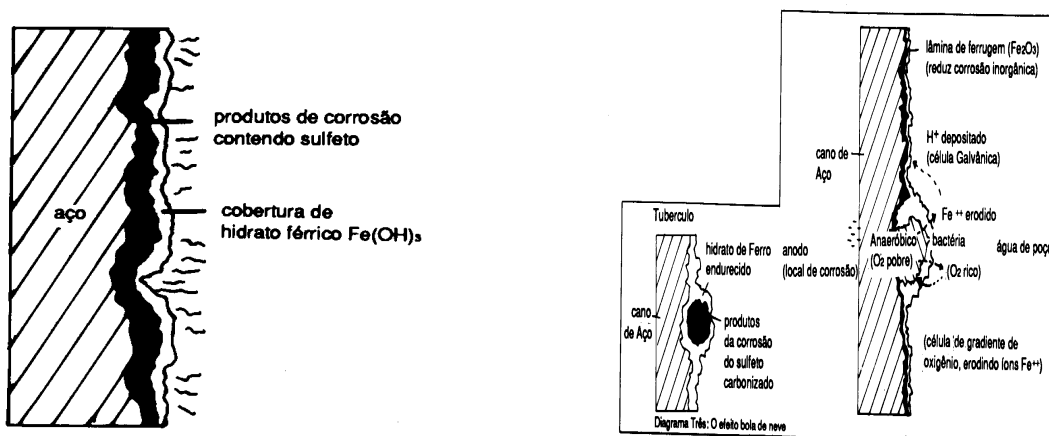


Fig. 3. Corrosão eletrolítica incrementada por ferro-bactérias

3.7. A SOLUBILIDADE DO FERRO

Os parâmetros químicos favoráveis a solubilização do Fe nas águas subterrâneas são relacionados a pH e Eh específicos. O pH refere-se a condição predominante ácida ($\text{pH} < 7$) da água para solubilizar o Fe.

O Eh, definido como medidas relativas às condições de oxidação (valores positivos) ou de redução (valores negativos) da solução, é influenciado pela temperatura e concentração de íons. A fig. 6 indica a relação pH – Eh condicionando o estado solúvel ou sólido do Fe. Percebe-se que, de maneira geral, pH e Eh baixos permitem condições de solubilização alta do Fe; Eh e pH altos deixarão o Fe no estado sólido (Hem, 1970). A água em contato com o ar terá, via de regra, pH maior que 5 e Eh entre 0,35 e 0,50 volts. Nestes parâmetros a solubilidade do Fe é baixa. A água subterrânea por não estar em contato com o ar, conseqüentemente ser pobre em oxigênio, pode ficar bastante redutora (anóxica) ao percolar rochas com minerais ricos em Fe que acabam por consumir drasticamente seu nível de oxigênio em reações de solubilização do Fe^{+2} .

Entretanto quando a água subterrânea rica em íons Fe^{+2} encontrar oxigênio disponível, ou seja, condições de oxidação — fato que ocorre com parte dela ao adentrar

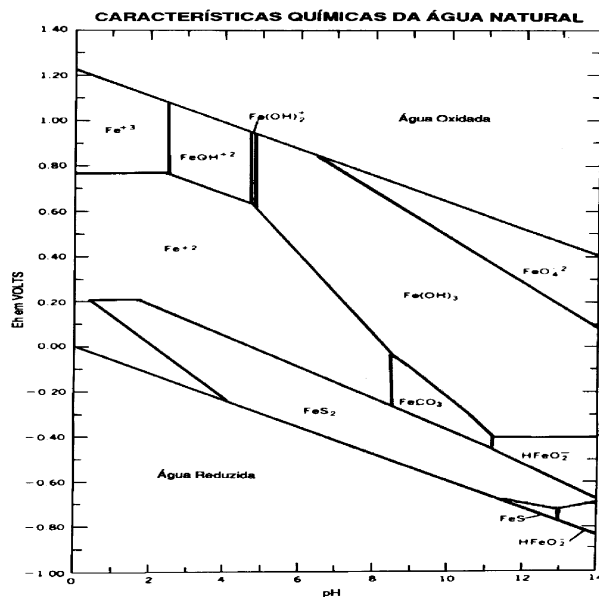


FIGURA 6. Campos de estabilidade para formas sólidas e dissolvidas do ferro em função do Eh e do pH a 25°C (e pressão) de uma atmosfera. Atividade de espécies de enxofre 96 mg/l na forma SO_4^{2-} , espécies de dióxido de carbono 1.000mg na forma HCO_3^- e de ferro dissolvido 0.0056 mg/l. (Hem, 1970).

ao poço e também no bombeamento — o Fe^{+2} passará para Fe^{+3} e se precipitará na forma do que se conhece como ferrugem. Esta é a razão da água sair cristalina do poço, isto é, ainda com Fe^{+2} solúvel, e amarelar-se no reservatório quando o Fe já estará oxidado para Fe^{+3} insolúvel. Nestas condições, o Eh é em torno de 0,40 volts, o que indica solubilidade baixa do ferro. Dentro do poço sobrarão incrustações que poderão comprometer a produtividade do poço.

3.8. INCRUSTAÇÕES POR FERRO-BACTÉRIAS

A presença de ferro-bactérias nos processos de incrustações em poços de água é assunto extenso e complexo

A execução de perfilagens óticas e análises para identificar as bactérias são os mecanismos disponíveis para se identificar a presença de fato de ferro-bactérias no sistema sob averiguação.

Estudos mais recentes desmistificam concepções antigas e errôneas de que as bactérias de ferro atacavam diretamente a superfície metálica para utilizá-la em sua biosíntese. Levantamentos científicos atualizados mostraram que as ferro-bactérias são capazes de crescer em materiais não ferrosos, ou mesmo não metálicos, submersos em água e utilizam o Fe^{+2} solúvel como nutriente

Hasselbarth e Ludeman (1972) indicaram quatro condições necessárias ao crescimento maciço das ferro-bactérias:

- I. a presença de fato da ferro-bactéria
- II. concentrações específica de Fe^{+2} dissolvido
- III. faixas específicas de Eh e pH (fig. 6)
- IV. oscilações excessivas do nível de água durante a exploração do poço, inclusive com filtros descobertos produzindo

Valkenburg et al. (1975) fizeram importante observação de que as ferro-bactérias são introduzidas nos poços pela superfície, principalmente durante a construção do poço e não a transmissão via aquífero de um poço para o outro. Recomendaram esterilizar (clorar) ferramentas para perfurar.

4. METODOLOGIAS DE TRATAMENTOS USUAIS

As metodologias mais utilizadas estão descritas no Quadro 3, subdividindo-se em Mecânicas e Químicas. Em geral executa-se os dois métodos em conjunto, sendo a parte

química uma espécie de complemento da mecânica. No caso das incrustações isto deveria ser revertido — a remoção deve ser química e a parte mecânica serve somente para operacionalizar a aplicação de produtos químicos.

Método	Tipos	Incrustação	Ação	Agente/prod.
MECÂNICO	Escovamento	Aplicação Geral	Fricção abrasiva	Escova aço
	Pistão Válvula			Êmbolo mec
	Sucção Ar			Compressor
	Jateamento			Bomba
QUÍMICO	Desinfetantes	Fe-bacteria	bactericida	Hipocloritos
	Desinfetantes/ Detergentes	Fe-bactéria e subprod.	bactericida e dispersante	fostato sódio (polifosfato)
	Ácidos	Fe (OH) ₃	solub/red/se- questrante	Ácidos inorg Ácido org.cb
		Ca/MgCO ₃	dissolução/ sequestrante	Ácidos inorg Ácido org.cb
		Fe-bactéria	solub./red./ sequestrante/ bactericida	Ácidos inorg Ácido org.cb Hipocloritos

Quadro 3 - Resumo dos principais tratamentos para desincrustar

Observa-se a presença de ácidos inorgânicos fortes no Quadro 3. Ressalta-se que a utilização destes ácidos é desaconselhável por sua alta toxicidade e capacidade de corroer metais. O Ácido Clorídrico (Muriático), por exemplo, pode transformar-se Cloreto Férrico ao solubilizar Fe(OH)₃ se pH < 1. Este composto é capaz de corroer até aço inox. O manuseio destes ácidos é também bastante perigoso.

5. REMOÇÃO DAS INCRUSTAÇÕES ATRAVÉS DE TRATAMENTO COM ÁCIDOS ORGÂNICOS COMBINADOS

A utilização deste método permite que a limpeza seja feita mesmo sem se retirar o equipamento de bombeamento. Se houver necessidade de desincrustar o poço abaixo da bomba submersa (a difusão iônica na água é muito lenta para aguardar que a soluções se misturem sozinhas) é aconselhável a retirada desta e a instalação de tubos de ar comprimido até o fundo para que se homogeneize a concentração dos ácidos ao longo de toda coluna de água. Bombear o mínimo com compressor (vide 5.2.4.1).

5.1. PRELIMINARES SOBRE OS ÁCIDOS ORGÂNICOS

Os produtos a base de ácidos orgânicos combinados estão disponíveis no mercado e já se apresentam balanceados quimicamente tornando sua aplicação direta na quantidade requerida em cada caso.

Estes produtos são, em geral, a base de ácido cítrico e contam com aditivos que reforçam sua ação, inclusive com inibidores de corrosão.

A proposta de se utilizá-los em manutenções de poços leva em conta além de sua grande capacidade em desincrustar, seu caráter atóxico nas dosagem recomendada (8 g/litro) — é despreocupante a existência de algum resíduo após o tratamento, e o manuseio seguro dos ácidos em estado puro — podem ter contato com a pele.

5.2. COMO ATUAM NAS INCRUSTAÇÕES

5.2.1. Em Incrustações de Hidróxido de Ferro

Atuam de 4 formas simultâneas:

- I. Resolubilizando (decréscimo de pH)
- II. Reduzindo (Fe^{+3} para Fe^{+2})
- III. Complexando (citratos de Ferro e outros)
- IV. Tamponando a pH ideal (não agressivo aos metais)

A partir do momento em que se adiciona a solução com ácidos orgânicos combinados no interior do poço ele passa a reagir com as moléculas das incrustações, quebrando-as. A presença de um ácido fortemente redutor juntamente com o $\text{pH} < 3$ (vide Quadro 3) reduz parte dos cátions de Fe^{+3} para Fe^{+2} solúvel, transformando-os em solução de $\text{Fe}(\text{OH})_2$ de coloração esverdeada típica. Outra parte do Fe^{+3} reage com o ácido cítrico (complexação) gerando moléculas de citrato de ferro que é um sal e proporciona solução aquosa de coloração amarela esverdeada ou avermelhada. A ação dos sais abrandadores presentes completa a eficiência deste tipo de tratamento — os metais são totalmente preservados tendo somente as incrustações de suas superfícies resolubilizadas e removidas.

5.2.2. Incrustações de Carbonatos

A ação dos ácidos orgânicos nas incrustações de carbonatos é semelhante a do ferro exceto no que tange a redução. Neste caso, um pH inferior a 4 é suficiente para destruir as moléculas de Carbonatos liberando o gás CO_2 e fazendo com que os cátions de Ca e Mg sejam solubilizados pela ação acidificante do produto. Os cátions metálicos Fe e Mn quando presentes são complexados.

5.2.3. Metodologia de Aplicação Passo a Passo (Quadro 4)

5.2.3.1. A metodologia baseia-se em 4 averiguações iniciais:

- I. Tipo de incrustação (carbonato ou ferro)

- II. Estágio das incrustações (alta, média ou baixa)
- III. Dados do poço (volume interno de água - poço parado)
- IV. Observar se é possível instalar retorno na saída do poço

5.2.3.2. Ao se obter as informações acima verifica-se a quantidade inicial a ser adicionada (Volume interno em litros x 8 g). Contabilizar mais 50% da quantidade inicial para correções de pH futuras

5.2.3.3. Após a adição (diluir produto em lata de 20 litros e jogar pela boca do poço) circula-se a solução obtida por 30 min em circuito fechado para homogeneizar pH. Desliga-se bomba em seguida.

5.2.3.4. Monitora-se o pH em medições periódicas (3 em 3 h, por exemplo) ligando bomba por 5 min. Se pH subiu acima dos valores de referência adicionar mais produto e circular por 15 min para misturar.

5.2.3.5. Ao término do tratamento circular por 3 ou 6 h.

Controle Tipo incrust.		pH (referência)	Dosagem de ácidos (g/litro)	Tempo de tratamento (h)	Intervalos medições (h em h)	Tempo de Circulação (h) após
Ca / Mg C O ₃	alta	< 4	8 a 10	18	1	3
	méd			15	3	
	baix			12	6	
Fe / Mn (O H) ₃	alta	< 3	8	24	1	6
	med			18	2	
	baix			12	3	

Quadro 4 - Metodologia de tratamento de incrustações através de ácidos

5.2.4. Evitar Durante Tratamento

5.2.4.1. A aeração ou oxigenação da solução

Evitar que a solução retorne em queda livre durante a circulação fechada além do tempo de mistura ou uso prolongado de compressor (30 min, no máximo). O motivo é evitar a oxigenação intensa da solução consumindo os reagentes responsáveis pela redução.

5.2.4.2. O transbordamento do poço

Quando o NE é 0 ou próximo a superfície o poço tende a transbordar em circulação fechada e jogar a solução fora, diluindo-a. Bombear o suficiente para homogeneizar o pH ao longo da coluna.

5.2.4.3. Saturação da solução (excessos de incrustações)

Quando a solução já solubilizou muito Fe^{+3} e visualmente apresenta-se como um “caldo” grosso avermelhado, é recomendável descartá-la e em seguida reiniciar o processo.

5.2.4.4. A elevação do pH

Se o pH começar a subir isto indica que houve diluição (vide item 5.2.5) ou excessivas reações de solubilização. Estando acima dos patamares 3 (para Fe) ou 4 (para Carbonatos) as reações diminuem drasticamente e o tratamento é ineficiente. Portanto, a adição de mais produto para reduzir o pH que aumentou é fundamental.

5.2.5. Fatores Que Provocam Diluição da Solução

A solução acidificante pode sofrer diluições no interior do poço e com isto ter seu pH elevado. Os fatores de diluição podem ser os seguintes:

5.2.5.1. O poço pode captar águas com diferentes pressões e por conseguinte ter circulações internas mesmo parado.

5.2.5.2. Os aquíferos têm fluxos e a água “passa” pelo poço em seu caminho entre a zona de recarga e de descarga.

5.2.5.3. Os poços com NE profundos têm significativos volumes d’água acima deste nas tubulações edutoras que poderão ser fatores de diluição ao iniciar ou reiniciar bombeamento.

6. O EXEMPLO DE TIETÊ

O Município de Tietê (SP) é totalmente abastecido por água subterrânea e por estar localizado sobre os domínios do Grupo Tubarão possui característica hidroquímica peculiar.

Os parâmetros que determinam as incrustações de 3 poços (P-09, P-03 e P-04) submetidos a tratamento químico com ácidos orgânicos combinados estão resumidos no Quadro 5, 6 e 7.

<i>Parâmetro</i>	<i>Resultado</i>	<i>V. M. P.</i>	<i>Unidade</i>	<i>Expresso</i>
Dureza Total	143	500	mg/l	CaCO ₃
Mn Total	0,36	0,1	mg/l	Mn
Fe Total	0,005	0,3	mg/l	Fe

Quadro 5 Poço SAMAE P-09 ETA Análise CETESB 05/10/92

<i>Parâmetro</i>	<i>Resultado</i>	<i>V.M.P.</i>	<i>Unidade</i>	<i>Expresso</i>
Dureza Total	95	500	mg/l	CaCO ₃
Mn Total	0,02	0,1	mg/l	Mn
Fe Total	0,12	0,3	mg/l	Fe

Quadro 6 Poço SAMAE P-03 SANTA CRUZ Análise CETESB 05/10/92

<i>Parâmetro</i>	<i>Resultado</i>	<i>V. M. P.</i>	<i>Unidade</i>	<i>Expresso</i>
Dureza Total	96	500	mg/l	CaCO ₃
Mn Total	0,06	0,1	mg/l	Mn
Fe Total	0,01	0,3	mg/l	Fe

Quadro 7 Poço SAMAE P-04 7 SETEMBRO Análise CETESB 05/10/92

6.1. PROBLEMAS DECORRENTES E CORREÇÕES

Problemas históricos de incrustações, coloração e turbidez das águas distribuídas em Tietê estiveram presentes no dia-a-dia de consumidores e do Sistema de Abastecimento até meados de 1996, trazendo complicações como a queda de produtividade dos poços, obstruções das tubulações da rede, entupimento de chuveiros e queima de resistências nas casas, além de águas avermelhadas e de gosto ruim.

6.1.1. A Tecnologia dos Poli-Orto-Fosfatos

Esta situação começou a mudar nos últimos dois anos quando a tecnologia de tratamento de água a base de poli-orto-fosfatos começou a ser utilizada pelo SAMAE local. A dosagem deste componente é feita dentro do próprio poço e serve para complexar os íons Fe e Mn — estes ficam envolvidos em macromoléculas capazes de mantê-los solúveis pois não têm contato com oxigênio do ar — responsáveis pelo aumento de coloração e também em parte pelas incrustações nas tubulações em geral. O outro responsável pelas incrustações, ou seja, a dureza (expressa em CaCO₃), também acaba tendo seus efeitos diminuídos pela maior solubilização dos íons Ca (ou Mg) e

também pela remoção das incrustações pré-existentes com a formação de fosfato tricálcico (incrustações ficam duras e quebradiças, acabando por se soltar da tubulação). Desta forma, os problemas de distribuição da água acabaram sendo equacionados.

6.1.2. A Tecnologia dos Ácidos Orgânicos Combinados

Restava aos técnicos do SAMAE resolver o problema da queda de vazão dos poços. O poço P-09 com de 18 anos de operação teve redução de 90 m³/h para 25 m³/h por uma dureza de 143 mg/l capaz de reduzir sua permeabilidade ao longo do tempo. Este fato comprometeu o abastecimento do município, o que levou administradores municipais a cogitarem captação superficial do rio Sorocaba. A possibilidade de se estabelecer um tratamento rápido, sem remoção do conjunto moto-bomba, com a utilização de produtos químicos não-corrosivos e atóxicos, levou o SAMAE a optar por um tratamento experimental com os ácidos orgânicos combinados em P-09, localizado na ETA principal da cidade. Após a constatação da efetividade do processo foram tratados também P-03 e P-04, estes com quedas menores de produtividade por possuírem menor dureza (95 e 96 mg/l). Os dados estão abaixo:

Aplicação	Q inicial	Q final	ND inicial	ND final	Aplicado
1ª (7e8/6/97)	25 m ³ /h	32,4 m ³ /h	150 m	144,5 m	96 kg
2ª (21e22/6/97)	32,4 m ³ /h	71,2 m ³ /h	148,2 m	148,2 m	84 kg

Quadro 8 - Resumo do tratamento do poço **P-09** (prof. 200m, em Ø 8", não revestido)
Tempo de tratamento: 1ª. 20 h e 2ª. 20:30 h pH (médio) = 2,49

Aplicação	Q inicial	Q final	Tempo	pH (médio)	Aplicado
1ª (2-4/8/97)	37 m ³ /h	52,8 m ³ /h	40 h	2,5	132 kg

Quadro 9 - Resumo do tratamento do poço **P-03** (prof. 250 m, em Ø 8", não revestido)
Obs.: não possui dados de níveis

Aplicação	Q _{esp} inic	Q _{esp} final	Q inicial	Q final	Aplicado
1ª (13/4/98)	1,04 m ³ /hm	1,22 m ³ /hm	49,58 m	101,5 m	110 kg

Quadro 8 - Resumo do tratamento do poço **P-04** (prof. 200m, em Ø 8", não revestido)
Tempo de tratamento: 24 h pH (médio) = 3,40 Eh (médio) = +2,20
Executou-se 2 testes de vazão (antes e depois da aplicação) 1º em 7/12/97
Obs.: houve troca de bomba entre 1º e 2º Teste NE 1º=38,56 NE 2ºteste=45,41
ND 1ºteste=86,21m ND 2ºteste=128,5 m

7. CONCLUSÕES

7.1. A TECNOLOGIA DE APLICAÇÃO DE ÁCIDO ORGÂNICOS COMBINADOS para recuperação de poços incrustados, assim como para manutenções preventivas, é

alternativa viável e econômica. Em caso de incrustações de carbonatos em poços não-revestidos de formações sedimentares consolidadas, como o Grupo Tubarão, as chances de se restabelecer a vazão original, mesmo em quedas acentuadas, são grandes. O exemplo da cidade de Tietê (SP) demonstra claramente que estes poços podem ser controlados preventivamente através de tratamentos periódicos feitos de maneira simples, rápida, segura (reagentes não-tóxicos e não-corrosivos) e com custos reportando-se apenas às quantidades de ácidos orgânicos combinados requeridas para cada caso.

7.2. A LIMPEZA MECÂNICA (escovamento, pistoneamento, sucção, etc) pode auxiliar o tratamento se for feita a posteriori através da remoção de incrustações já “amolecidas” previamente pelos ácidos. O controle de pH (< 4 para Carbonatos) durante todo o tratamento é peça fundamental para sua eficiência.

7.3. NO CASO DE INCRUSTAÇÕES DE FERRO, além do controle rigoroso de pH (< 3 para Fe), objetiva-se redução de Fe^{+3} para Fe^{+2} a fim de acelerar e potencializar as reações de solubilização das incrustações. Para isto deve-se evitar aerações intensas da solução reagente.

7.4. AS INCRUSTAÇÕES PROVENIENTES DE AÇÃO ELETROLÍTICA devem ser removidas de forma preventiva (estabelece-se um período regular para tratamento – a cada 3 meses, por exemplo), já que os componentes abrandadores das fórmulas dos produtos disponíveis no mercado formam películas protetoras capazes de minimizarem (e não evitarem totalmente – para isto deve-se utilizar revestimentos resistentes a corrosão) as ações eletrolíticas.

7.5. QUANDO DETECTA-SE A PRESENÇA DE FERRO-BACTÉRIAS o tratamento com ácidos deve ser intercalado com clorações vigorosas para a ação bactericida.

O tratamento recomendado para este caso é uma acidificação inicial para remover o hidróxido de Fe acumulado e incrustado no interior do poço (item 5.2.3); seguida de uma cloração intensa (10 a 20 litros de Hipoclorito de Sódio 10% por m^3) — por conseguinte vai oxidar mais Fe^{+2} e depositar ferrugem novamente; e finalmente uma segunda acidificação (nos moldes da 1ª) para remoção do Fe^{+3} precipitado pela cloração e de alguma incrustação residual.

BIBLIOGRAFIA

- HIRATA, R. *Qualidade das Águas Subterrâneas e das águas minerais*. Simpósio ILSI, Auditório CETESB, 1995.
- HACKETT, G. & LEHR, J.H. *Iron bacteria occurrence, problems and control methods in water wells*. Worthington, National Water Association, 1ªed., 1985.
- JOHNSON Division, UOP, *Ground water and wells*; Johnson Division, Universal Oil Products, St. Paul, Minnesota, 440pp, 1972.
- DOMENICO, P. & SCHWARTZ, F. 1990. *Physical and Chemical Hydrogeology*. John Wiley & Sons. New York. 824 p.
- CLARK, F. E., *Corrosion and encrustation; in water wells*; Food, Agriculture Organization of the United Nations Rome 95pp, 1980.
- SMITH, S., *A layman's guide to iron bacteria problems in wells*; in Water Wells Journal, vol.34, nº5, 1980, pp. 40-42.
- STARKEY, R. L., *Transformations of iron by bacteria in water*; in Journal of the American Water Works Association, vol. 37, nº10, 1945, pp. 963-984.
- HASSELBARTH, U. & LUDEMANN, D., *Biological incrustation of wells due to mass development of iron and manganese bacteria*; in Water Treatment and Examination, vol. 21, 1972, pp. 20-29.
- HEM, J., *Study and interpretation of the chemical characteristics of natural water*; in U.S. Geological Survey Water-Supply Paper 1473, Washington, D.C., 363 pp, 1970.
- VALKENBURG, N., CHRISTIAN, R., and GREEN, M., *Ocorrence of iron bacteria in ground water supplies of Alabama, 1975*

9. AGRADECIMENTOS

Ao Biólogo Antônio José Mazer Lazarin e Eng. Quím. Valter Luís Pizzol do SAMAE de Tietê (SP), a Eng. Jesiel de Oliveira Seluque da Seluque Equipamentos e Sistemas Ltda. e a Álvaro Magalhães Júnior da SIDRASUL, os nossos agradecimentos.