

ANALISE DE UM SISTEMA DE TRATAMENTO DE BAIXO CUSTO PARA A REMOÇÃO DE FERRO E MANGANÊS DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

Bernadete Feitosa Cavalcanti *

Edmilson Francisco Urtiga **

CURRICULUM VITAE DOS AUTORES

Bernadete Feitosa Cavalcanti - Engenheira Civil pela Escola Poli técnica (atual CCT) da UFPB, Campina Grande, Pb., em 1967; Pós-graduada em Saúde Pública para Engenheiros pela Faculdade de Saúde Pública da USP, São Paulo, SP e, 1970 e M.Sc. in Civil Engineering pela Universidade de Cape Town, Cape Town, Africa do Sul, 1981. Foi engenheira e chefe da Divisão de Projetos e Construção da Cia. de Água e Esgotos da Paraíba-CAGEPA de 1968 a 1975 e coordenadora de cursos do Centro de Engenharia Sanitária do Nordeste-CENSAN de 1971 a 1974. Desde 1974 é professora (atualmente Adjunto IV) do Departamento de Engenharia Civil - Área de Recursos Hídricos do Centro de Ciências e Tecnologia da UFPB em Campina Grande, Pb.

Edmilson Francisco Urtiga - Engenheiro Civil pelo Centro de Ciências e Tecnologia- CCT da UFPB em 1982 e M.Sc. em Engenharia Civil Área de Recursos Hídricos-Eng. Sanitária e Ambiental do CCT- 1992. É engenheiro e chefe da Divisão na Cia. de Água e Esgotos do Amazonas - COSAMA, Manaus-Amazonas a partir de 1984.

RESUMO

Uma ETA-Piloto constituída dos processos de aeração, sedimentação e filtração é analisada com vistas à remoção de ferro e manganês de águas naturais subterrâneas. É também analisada a influência de uma desinfecção de baixo custo (com composto de cloro) na remoção desses ions. A qualidade química final da água é satisfatória apenas para períodos de detenção no sedimentador acima de 8 horas considerando que (i) há remoção total do ferro; (ii) a concentração final de manganês é tolerável para uso doméstico e (iii) o

tratamento promove um leve abrandamento da água. Como aplicação prática desse processo de remoção, sugere-se um ETA-domiciliar de baixo custo e de fácil operação e manutenção.

ABSTRACT

A Water Treatment Plant encompassing the processes aeration, sedimentation and filtration is analysed concerning the removal of iron and manganese from natural groundwaters. It is also analysed the influence of low cost disinfection (by applying a chlorine compound) in the removal of these ions. The final chemical quality of the water is suitable only for detention periods above 8 hours in the settler considering that (i) iron removal is complete; (ii) the final manganese concentration is passable for domestic use and (iii) the treatment promotes a slight softening of the water. For a practical application of this removal process, it is suggested a residential low cost plant which is easily operated and maintained.

INTRODUÇÃO

Em águas subterrâneas, o ferro e o manganês são encontrados, como espécies solúveis, em poços localizados em depósitos de piçarra arenosos e aluviões. Uma água subterrânea saturada com, por exemplo, "rodocrosita"- $MnCO_3$, "siderita"- $FeCO_3$ e "calcita"- $CaCO_3$ apresenta ferro e manganês nas formas ferrosa- Fe^{2+} e manganosa- Mn^{2+} , respectivamente e calcio- Ca^{2+} ocorrendo uma depleção

* Prof. Adjunto IV - Área de Eng. de Recursos Hídricos

Centro de Ciências e Tecnologia da UFPB-C.Grande, PB.

** Eng^a da Cia. de Água e Esgotos do Amazonas-COSAMA

M.Sc. em Engenharia Civil - Área de Rec. Hídricos-CCT-UFPB

na concentração de oxigênio da água (dióxido de carbono- CO_2 alto e pH baixo). De um modo geral, a origem desses compostos se deve (i) à dissolução pela água de minerais ferrosos e manganosos em certos solos; (ii) à redução de compostos férricos e mangânicos do solo, quer de origem animal, quer orgânicos e (iii) à decomposição da matéria orgânica em terrenos aluviais onde há consumo de oxigênio dissolvido-OD e aumento de CO_2 . Nesse último caso, os compostos de ferro e de manganês (óxidos, sulfatos, bicarbonatos, cloretos, etc) se tornam solúveis. Para valores baixos de pH (presença de CO_2) a água não contém OD e esses compostos passam inobservados. Outrossim, quando bombeada, a água entra em contato com O_2 do ar e o absorve aparecendo uma cor indesejável.

Quando o ferro e o manganês estão presentes na água em teores maiores que 0.30 mg/l como um total ou para teor de ferro maior que 0.30 mg/l e de manganês maior que 0.10 mg/l, alguns efeitos desagradáveis são observados (A.NETTO, 1966); ou seja: nódoas em roupas, porcelana e aparelhos hidro-sanitários, gosto metálico, etc. O acúmulo de ferro precipitado nas tubulações além de provocar corrosão e incrustação, favorece o crescimento de bactérias e bacilos (*Chrenothrix* e *Thiobacillus thiooxidans*, respectivamente) e causam odores ofensivos. São também causadores de dureza (SNOEYINK & JENKINS, 1980) e, após sua oxidação em sedimentos, obstruem canalizações, peças e acessórios de sistemas de transmissão de água.

O uso de águas naturais com ferro e manganês para fins doméstico e/ou industrial requer que sejam adotados tratamentos específicos da água. Entretanto, em cidades e vilarejos de pequeno porte e onde há escassez de recursos financeiros, é inviável um tratamento especial envolvendo dosagem química para oxidação e precipitação desses íons.

Este trabalho analisa a eficiência de uma ETA-Piloto de baixo custo e sem dosagem química (exceto a desinfecção com compostos de cloro) para a remoção de ferro e manganês de águas subterrâneas e que pode ser utilizada como unidade de tratamento residencial.

TEORIA DA REMOÇÃO DE FERRO E MANGANÊS

CINÉTICA DA REMOÇÃO DE FERRO E MANGANÊS: UMA REVISÃO

Os íons Fe^{2+} e Mn^{2+} de águas subterrâneas (para OD nulo ou insignificante) podem ser oxidados para as formas

férrica- Fe^{3+} e mangânica- Mn^{4+} , respectivamente. Essas formas são muito insolúveis com relação ao íon oxidrila- OH^- da água. Após a oxigenação, a água descolora e se torna (i) preta devido ao precipitado coloidal de pirolusita- $\text{MnO}_{2(s)}$ e (ii) amarela decorrente da precipitação de hidróxido ferroso- $\text{Fe}(\text{OH})_2$. Quando o oxigênio entra na água, ela se torna turva e inaceitável sob o ponto de vista estético.

A equação fundamental para a oxidação ferrosa é dada por (DAVID & DAVID, 1976):

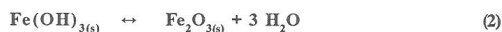


onde,

\leftrightarrow indica reação parcial, \downarrow precipitação e (s) composto sólido.

Essa equação mostra que a remoção de ferro é dependente do pH. Quanto maior for esse valor, menor é o tempo de precipitação dos íons férricos (STUMM & MORGAN, 1981).

O precipitado $\text{Fe}(\text{OH})_{3(s)}$ desidrata para formar o óxido férrico Fe_2O_3 que apresenta uma cor avermelhada; ou seja:

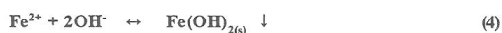


Em águas subterrâneas sem oxigênio dissolvido mas com a espécie carbonato- CO_3 , o ferro pode precipitar como um carbonato sólido ou siderita- $\text{FeCO}_{3(s)}$, segundo a reação (SNOEYINK & JENKINS, 1980):



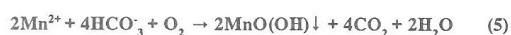
onde, \rightarrow indica reação total

Em outros casos, quando o pH é alto e não há OD, o ferro ferroso precipita da seguinte forma:

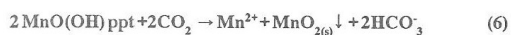


Caso o precipitado ou de hidróxido ferroso ou de hidróxido férrico extravasem de uma tubulação, aparecerá logo uma cor avermelhada na água.

O manganês aparece em águas naturais nas formas de Mn^{2+} , $\text{Mn}(\text{OH})^+$ e $\text{Mn}(\text{HCO}_3)^+$ e como solução coloidal de pirolusita (STUMM & MORGAN, 1981). Na presença de bicarbonato- HCO_3 , a reação fundamental de oxidação do manganês é dada por (KLEIJN, 1976):



Por sua vez, a manganita-MnO(OH) precipitada na presença de CO₂ resulta na precipitação de pirulusita-MnO_{2(s)}; ou seja:



STUMM & MORGAN (1981) observaram, através de experiência, que a oxigenação de manganês é mais dependente do pH que o ferro. Enquanto que o ferro pode ser removido totalmente para valores de pH acima de 5.0, o manganês só é removido para valores de pH acima de 9.5; ou seja, para valores de pH além da faixa de águas naturais (6.5 < pH < 9.5).

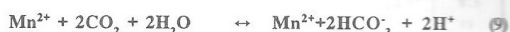
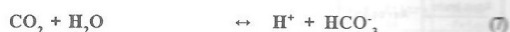
PROCESSO DE REMOÇÃO PARA ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

Considerando que o ferro e o manganês em águas subterrâneas aparecem dissolvidos e não ligados a matéria orgânica, os processos mais adequados para sua remoção são (A. NETTO, 1966; FAIR & GEYER & OKUN, 1968): (i) Aeração simples seguida de retenção do material precipitado e (2) Aeração seguida de leito de contato. No processo (1) a unidade de aeração pode ser qualquer uma (cascata, escada, etc.) mas o tipo "tabuleiro" é tido como o mais eficiente (A. NETTO, 1966). Nele, o tempo de contato da água com os produtos de ferro e manganês previamente oxidados e precipitados é muito maior. Após a aeração, a água deve permanecer por cerca de 60 minutos em decantador do material precipitado. O processo (2) difere do (1) apenas no tipo de aerador ou de reator que segue a unidade de aeração. Caso seja empregado o próprio aerador como leito de contato, é conveniente usar o tipo "bandeja" que contém leitos de pedra ou de coque. Esses leitos suportam camadas de óxidos que aceleram as reações de oxidação (SANTOS FILHO, 1985). Uma outra alternativa é a de instalar um leito granular de contato, logo em seguida ao aerador. Esse leito se constitui numa camada de areia grossa seixos, etc., de modo a propiciar a ação catalítica dos óxidos e hidróxidos ali depositados. Após sua passagem pelo leito de contato, no sentido ascendente, a água é submetida à filtração rápida. O único inconveniente desses processos se reporta à remoção ineficiente do manganês já que esta é bastante dependente do pH.

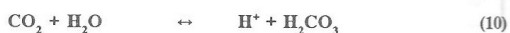
O modo como a aeração auxilia a remoção dos íons de ferro e de manganês pode ser explicado como se segue:

Nas camadas subterrâneas, o CO₂ reage com os

minerais de ferro e de manganês segundo as reações (VAN RAALTEN & CAVALCANTI, 1972):



Quando essas águas são aeradas, o teor elevado de CO₂ dissolvido desaparece e o efeito dessa oxidação é definido por:



ou seja, a concentração de H⁺ diminuirá. Como conseqüência, a corrosividade da água diminuirá e o pH se eleva. Ademais, a remoção de CO₂ não afeta a precipitação de ferro e de manganês (ver equações 8 e 9). O outro efeito observado na aeração é o fornecimento de O₂ do ar para a água. O oxigênio dissolvido oxidará os íons de ferro e manganês da seguinte forma (KLEIJN, 1976):



Nessas equações, 1 mol de O₂ oxida 4 átomos de ferro e 2 átomos de manganês. Entretanto, há diminuição do pH por causa da introdução de novos íons de hidrogênio. Como se pode observar nas equações 11 e 12, os compostos férricos e mangânicos, respectivamente, são insolúveis na água e precipitam havendo, portanto, a necessidade de uma sedimentação.

A filtração é empregada para aumentar a remoção de ferro e manganês uma vez que seu leito filtrante "amadurecido" tem a capacidade de reter os óxidos desses metais (VAN RAALTEN & CAVALCANTI, 1972).

INVESTIGAÇÃO EXPERIMENTAL

DESCRIÇÃO DA ETA-PILOTO

O fluxograma do tratamento proposto para a unidade domiciliar de remoção de ferro e manganês é mostrado na figura 1; ou seja, aeração, sedimentação, filtração rápida por gravidade e desinfecção com composto de cloro (hipoclorito de sódio - NaOCl ou água sanitária). A figura 2 mostra o sistema experimental ou ETA-Piloto investigada e que foi montada na Estação de Tratamento de Água do Alto Branco

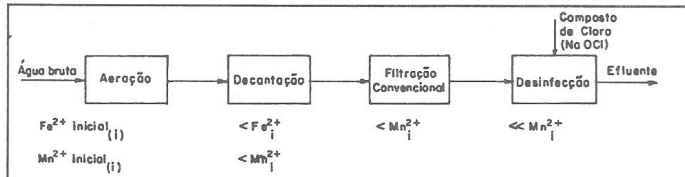


Fig. 1 - "Fluxograma do tratamento aplicado na ETA domiciliar para a remoção/redução de ferro e manganês de água subterrânea."

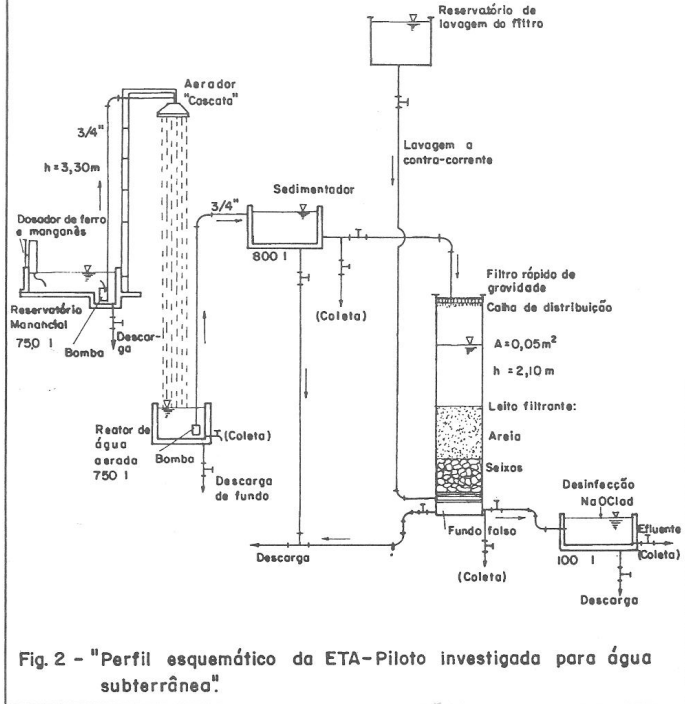


Fig. 2 - "Perfil esquemático da ETA-Piloto investigada para água subterrânea."

(ora desativada) em Campina Grande, Pb. Ela contou com seis reatores de tratamento, a saber: reservatório-manancial, aerador, reator de recepção de água aerada, sedimentador, filtro rápido de gravidade e reator de desinfecção.

A água subterrânea foi simulada a partir de água natural de poço de lençol freático acondicionada em reator de 750 l e onde foram aplicadas dosagens de 1.20 mg/l e 1.00 mg/l de sulfato ferroso $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ e sulfato manganoso- $\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$, respectivamente.

A aeração da cascata foi simulada por um chuveiro, em plástico PVC, com diâmetro de 200 mm, 150 furos de 1/16", acoplado a uma haste de madeira de 3.30m de altura. A alimentação do chuveiro foi feita por bomba submersa, marca Anauger, modelo 03, com capacidade de 1200 l/h ou 0.33l/s, acoplada a uma mangueira plástica de 3/4" que recalava água do reservatório-manancial.

O decantador, em seção retangular e fundo horizontal, foi feito em placas de PVC com as seguintes características: área de 0.76 m², volume de 0.8 m³, profundidade total de 0.67 m, taxa de escoamento superficial de 6.2 m³/m²/d, velocidades de sedimentação e horizontal de, respectivamente, 7 x 10⁻³ cm/s e 8 x 10⁻³ cm/s e tempo de detenção de 2 horas (para a condição mais desfavorável) e de 8 horas.

O filtro rápido de gravidade foi feito em tubo PVC, rígido, de 200 mm de diâmetro, com área de 0.03 m² e altura de 2.50m. A taxa de filtração empregada foi de 120 m³/m²/d (HUISMAN, 1976). O leito filtrante, com 1.00m, foi constituído de uma camada de 0.63m de areia assente sobre uma camada de 0.37m de seixos e pedregulhos. Abaixo desse leito foi colocado um sistema de drenos com furos de 3/8", sobre o fundo falso do filtro, e que permitia a coleta da água filtra-

da. A lavagem do filtro, à contra corrente, foi feita com vazão de 17 l/min e a expansão da areia podia ser observada nos dois visores de acrílico transparente do filtro. A vazão efluente foi constante, 4.1 l/min, e medida em torneira acoplada a registro de 3/4".

A desinfecção foi feita em reator de cimento-amianto de 100 l usando hipoclorito de sódio-NaOCl na dosagem de 1.5 mg/lCaCO₃ ou 0.6 ml e tempo de detenção de 1 hora para eliminar um concentração de coliformes totais de 230 NMP/100ml.

MATERIAIS E MÉTODOS

A coleta de amostras foi seqüenciada de acordo com o tipo de amostra a ser analisada; ou seja, águas bruta, aerada, decantada, filtrada e desinfetada. As análises foram feitas no laboratório de Qualidade de Água da Companhia de Água e Esgotos do Paraíba - CAGEPA no Alto Branco, Campina Grande, Pb. Todas as determinações foram feitas à 25°C e seguiram as recomendações do STANDARD METHODS, 1980 com exceção dos seguintes parâmetros: Alcalinidade (determinada pela Titulação de Gran com metodologia experimental de CAVALCANTI, 1981); ferro ferroso (segundo QUÍMICA ANALÍTICA QUANTITATIVA, 1974) e, finalmente, o manganês manganoso (segundo PROCESSOS SIMPLIFICADOS, 1970). A força iônica da água foi determinada a partir do valor dos Sólidos Totais Dissolvidos-STD e da fórmula de Langelier (in LOEWENTHAL & MARAIS, 1976); ou seja:

$$I = 2.5 \times 10^{-5} \text{ STD} \quad (13)$$

Onde, STD $\hat{=}$ 1.000 mg/l

RESULTADOS

Foram realizados três conjuntos de experiências para cada tempo de detenção investigado no sedimentador; ou seja, 2 horas e 8 horas cujos resultados médios estão listados nas Tabelas 1 e 2, respectivamente. Esses resultados experimentais serviram de base para a análise da eficiência da ETA-Piloto e para a interpretação da qualidade final da água a ser distribuída para consumo doméstico.

CONCLUSÕES E SUGESTÃO

As conclusões de pesquisa são as seguintes:

- 1- O desempenho dos reatores de tratamento da ETA-Piloto é apenas regular para tempo de detenção no sedimentador de 2(duas) horas. Outrossim, para tempo de detenção acima de 8 horas, há remoção total de ferro caso o pH da água seja bem maior que 5.0.
- 2- A decantação e a filtração convencional com leito de pedregulho, seixos e areia tem apenas uma pequena influência na remoção de manganês. Devido ao baixo valor de pH (pH < 9.0) e à falta de dosagem com substâncias oxidante e de abrandamento, não há possibilidade de oxidação de íons manganosos e mangânicos para posterior precipitação.

Quadro 1: "Resultados médios de três conjuntos de experiências à 25°C na ETA-Piloto para 2 horas de detenção no sedimentador".

Tipo de Água		Bruta	Aerada	Decantada	Filtrada	Desinfetada
Côr(Pt-Co)	mg/l	28.0	28.0	18.0	10.0	9.0
Turbidez	mg/l	7.0	7.0	5.0	4.0	3.3
pH _{op}	pH	7.9	8.4	8.4	8.4	8.5
Alc	mg/lCaCO ₃	82	82	78	78	73
Ca ²⁺	mg/lCaCO ₃	65	65	61	61	59
DT	mg/lCaCO ₃	123	123	121	121	120
Fe ²⁺	mg/l	1.20	1.20	0.83	0.65	0.30
Mn ²⁺	mg/l	1.00	1.00	0.87	0.75	0.40
Cl ⁻	mg/l	307	307	307	307	307
SO ₄ ²⁻	mg/l	pr	nm	nm	nm	nm
OD	mg/l	1.8	4.0	nm	nm	nm
CO ₂	mg/l	3.5	0.0	-	-	-
STD	mg/l	358	-	-	-	-
CT	NMP/100ml	224	nm	186	141	0.0
Cl ₂ Res.	mg/l	-	-	-	-	0.65
I	adm	0.01	-	-	-	0.01

Quadro 2: "Resultados médios de três conjuntos de experiências à 25°C na ETA-Piloto para 8 horas de detenção no sedimentador".

Tipo de Água		Bruta	Aerada	Decantada	Filtrada	Desinfetada
Côr(Pt-Co)	mg/l	28.0	28.0	10.0	2.0	1.0
Turbidez	mg/l	7.0	7.0	4.7	3.5	2.5
pH _{op}	pH	7.9	8.4	8.4	8.4	8.5
Alc	mg/lCaCO ₃	81	81	77	77	73
Ca ²⁺	mg/lCaCO ₃	64	64	60	60	58
DT	mg/lCaCO ₃	123	123	121	121	120
Fe ²⁺	mg/l	1.20	0.84	0.56	0.36	0.02
Mn ²⁺	mg/l	1.00	0.86	0.60	0.48	0.13
Cl ⁻	mg/l	304	304	304	304	304
SO ₄ ²⁻	mg/l	pr	nm	nm	nm	nm
OD	mg/l	1.9	4.1	nm	nm	nm
CO ₂	mg/l	3.5	0.0	-	-	-
STD	mg/l	355	-	-	-	355
CT	NMP/100ml	221	nm	165	122	0.0
Cl ₂ Res.	mg/l	-	-	-	-	0.40
I	adm	0.01	-	-	-	0.01

- 3- O cloro ou composto de cloro (hipoclorito de sódio ou mesmo água sanitária) usado na desinfecção age também como oxidante dos íons manganosos e íons ferrosos remanescentes. Há uma pequena elevação do pH ocorrendo uma ligeira precipitação desses íons metálicos.
- 4- A precipitação de cálcio acarreta também uma precipitação de carbonato-CO₃²⁻ e, conseqüentemente, da Alcalinidade. Sendo a dureza total-DT dada pela

presença de cálcio, ferro, manganês associados com bicarbonato, carbonato, cloreto, etc., após a remoção das espécies catiônicas seu valor também diminuído. Portanto, é possível considerar o tratamento proposto como sendo também de abrandamento da água.

Como sugestão, apresenta-se uma ETA domiciliar que é ilustrada na figura 3. Ela consta dos processos de aeração, sedimentação (no reator de recepção de água aerada), filtração simples por gravidade, sedimentação posterior e desinfecção em reatores bastante compactos e de baixo custo.

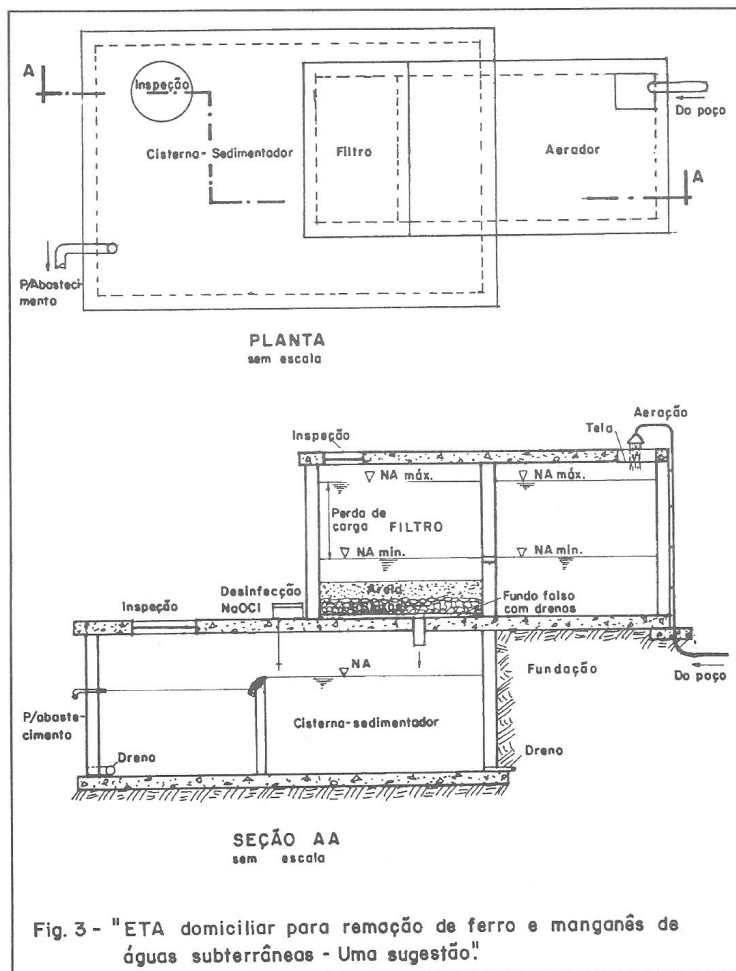
A substância desinfetante a ser utilizada pode ser o hipoclorito de sódio NaOCl (10% de cloro disponível) ou água sanitária (5% de Cl_2 disponível). Em ambos os casos, o NaOCl na água dissocia gerando o ânion hipoclorito- OCl^- que novamente reage com a água formando o ácido hipocloroso- $HOCl$. Este ácido reage com o ferro e o manganês nas formas ferrosa e manganosa, respectivamente, oxidando-os segundo as reações (SNOEYINK & JENKINS, 1980):



Essas reações acontecem a valores de pH perto ou acima da neutralização: ou seja, para valores de pH 6.5. Nenhum residual de cloro aparece até que todo o ferro

ferroso tenha sido oxidado para férrico. Outrossim, a reação de oxidação do derivado de cloro ou do cloro com o manganês só é possível para valores de pH igual ou acima de 8.5. Para propiciar uma maior oxidação e precipitação dos íons férricos e manganicos, sugere-se: (i) aplicar a desinfecção na cisterna - sedimentador e (ii) permitir que o tempo de contato da água e do desinfetante seja longo (acima de 8 horas).

Tendo em vista que a solução de NaOCl perde o cloro gradualmente, é conveniente que se prepare sempre uma nova solução toda a vez que for necessário desinfetar a água.



AGRADECIMENTOS

Os autores agradem o apoio da Companhia de Água e Esgotos da Paraíba - CAGEPA, especialmente da equipe do Dr. Aluizio Meira do laboratório de Qualidade de Água da ETA do Alto Branco, Campina Grande, Pb.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AZEVEDO NETTO, J.M., "Tratamento de ÁGUAS de Abastecimento", Ed. da USP, São Paulo, SP., 1966.
- CAVALCANTI, B.v.H., "Residual Liquid Junction Potentials in Binary Chloride Systems", M.Sc. Thesis, Dep. of Civil Eng., UCT, Cape Town, Africa do Sul, 1981.
- DAVID, D. & DAVID, P.G., "Photoredox chemistry of iron (III) chloride and iron (III) perchlorate in aqueous media: A comparative study" J.Phys. Chem., 80,579-583, 1976.
- FAIR, G.M., GEYER, J.C. & OKUN, D.A., "Water and Wastewater Engineering" Vol.2, John Wiley & Sons Inc., New York, EUA, 1968.
- HUISMAN, L., "Rapid Sand Filtration", Lecture Notes, Univ. of Delft, Holland, 1976.
- HUISMAN, I., "Sedimentation and Flocculation", Lecture Notes, Univ. of Delft, Holland, 1976.
- KLEIJN, H.F.W., "Water Chemie, Deel 1", Apostila (em Holandês), Univ. of Delft, Holland, 1976.
- LOEWENTHAL, R.E. & MARAIS, G.v.R., "Carbonate Chemistry of Aquatic Systems: Theory and Application", Ann Arbor Sc., Michigan, 1976.
- PROCESSOS SIMPLIFICADOS PARA EXAME E ANÁLISE DE ÁGUA, fac. de Saúde Pública da USP, São Paulo, SP, 1985.
- RAMAN, A. "Roof tank for iron removal", J.J.W.W.A., Volv, nº9, 1973.
- RURAL SANITATION, "Individual Water supply systems", U.S. Dep of Health, Ed. and Welfare, EUA, 1970.
- SANTOS FILHO, D.F. "Tecnologia de Tratamento de Água", 3ª Ed., Liv. Nobel, São Paulo, SP, 1985.
- SINGLEY, J.E. & BLACK, A.P., "Hydrolysis products of iron (III)", J.Am. Water Works Assoc., 59, 1549-1564, 1967.
- SNOEYINK, V.L. & JENKINS, D. "Water Chemistry", John Wiley & sons, Inc., EUA, 1980.
- STANDARD METHODS FOR THE EXAMINATION OF WATER AND WASTEWATER, 15th ed., Am. Publ. Health Assoc., Washington, D.C., EUA, 1980.
- STUMM, W. & MORGAN, J., "Aquatic Chemistry: An Introduction Emphasizing Chemical Equilibria in Na-

tural Waters", Wiley Int, EUA, 1970.

TOLMAN, S.L., "Sedimentation Basin Design and Operation", Public Works, EUA, 1963

VAN RAALTEN, C.W. & CAVALCANTI, B.F. "Instalações de Tratamento de Água", Apostila, Curso de Pós-Graduação em Eng. Civil, Área de Saneamento, Escola Politécnica, UFPB, 1972.

SIMBOLOGIA USADA NOS QUADROS

pH operacional ou observado	: pH
Alcalinidade Total ou Alcalinidade	: Alc
Cálcio	: Ca ²⁺
Ferro Ferroso	: Fe ²⁺
Manganês Manganoso	: Mn ²⁺
Dureza Total	: DT
Cloreto	: Cl ⁻
Sulfato	: SO ₄ ²⁻
Oxigênio Dissolvido	: OD
Dióxido de Carbono	: CO ₂
Sólidos Totais Dissolvidos	: STD
Califormes Totais	: CT
Cloro Residual	: Cl ₂ Res
Força Iônica	: I
Adimensional	: adm
Medição desnecessária	: -
Não medido	: nm
Parâmetro calculado	: *
Presença	: pr