

engenharia sanitária e ambiental

ÓRGÃO OFICIAL DE INFORMAÇÃO TÉCNICA DA ABES - RIO DE JANEIRO - BRASIL - ANO 1 - VOL.1 - Nº 1 - JAN/MAR 1996

ABES
ASSOCIAÇÃO
BRASILEIRA DE
ENGENHARIA
SANITÁRIA
E AMBIENTAL



**Trabalhos sobre
abastecimento
de água, esgotos
e poluição
atmosférica**

**Livros que
facilitam
a vida
profissional**

**Nota técnica:
tratamento
de água**

**Regulamento para
apresentação
de artigos técnicos**

Publicação trimestral da Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental - ABES, com tiragem de 10 mil exemplares. Fundada com o título *Engenharia Sanitária* em 1962 (V. 1: nº 1 - Junho de 1962), formato 18,0 x 26,0 cm, até o V. 12: nº 3, quando foi adotado o formato A-4. A partir do V. 28: Abr/Jun de 1989, passou a chamar-se *BIO*, com o formato 21,0 x 28,0 cm, sendo a *Engenharia Sanitária* transformada em encarte técnico da *BIO*. A partir de 1996, retorna a *Engenharia Sanitária*, desta feita incorporando a palavra *Ambiental* (Ano I - Nº 1 - Jan/Mar 1996).

DIRETOR RESPONSÁVEL

Clovis Francisco do Nascimento Filho

EDITORES

Tânia Magalhães

José Regal

CONSELHO EDITORIAL TÉCNICO

Ailson Medeiros da Silva (RJ), Alaôr de Almeida Castro (MG), Antônio Edésio Jungles (Coordenador Geral do Comitê de Custos de Bens e Serviços em Saneamento - SC); Bertoldo Silva Costa (SC), Carlos Augusto Chemicaro (MG), Carlos Henrique Abreu Mendes (RJ), Cassilda Teixeira de Carvalho (Coordenadora Geral do Comitê de Qualidade - MG), Cássio Caçula de Lima (Coordenador Geral do Comitê de Materiais e Equipamentos para Saneamento e Controle Ambiental - SP), Eduardo Pacheco Jordão (Coordenador Geral do Comitê de Ensino, Pesquisa e Desenvolvimento - RJ), Evandro Rodrigues de Brito (Coordenador Geral do Comitê de Ecologia e Meio Ambiente - RJ), Fernando Penna Botafogo Gonçalves (RJ), Getúlio Rodrigues da Silva (Coordenador Geral do Comitê de Recursos Humanos - DF), Heliana Kátia Tavares Campos (Coordenadora Geral do Comitê de Resíduos Sólidos - MG), Heloísa Helena Pinheiro Fiori (RS), João Alberto Viol (SP), João Tinoco Pereira Neto (MG), José Carlos Mello (PE), José Cláudio Junqueira Pereira (MG), Jurandyr Povinelli (SP), Lineu Rodrigues Alonzo (SP), Luiz Di Bernardo (SP), Manoel Inácio D'Abadia A. de Sá Filho (DF), Marcos von Sperling (MG), Maria Lúcia B. Carneiro Oliveira (DF), Mário de Lavigne Filho (SP), Mário José Vilela (GO), Nelson Luiz Rodrigues Nucci (SP), Ney Hornero da Silva Rocha (Coordenador Geral do Comitê de Tecnologias de Baixo Custo - RJ), Nicolau Leopoldo Obladen (PR), Rodolfo José da Costa e Silva (SP), Rubem Fonseca Filho (DF), Sérgio Rolim Mendonça (PB), Walter Engracia de Oliveira (SP) e Walter Pinto Costa (RJ).

CONSELHO EDITORIAL EXECUTIVO

Carlos de Carvalho Neto, Cecy Glória Hirano, Cícero Onofre de Andrade Neto, Eliane Barbosa, José Antônio da Cunha Melo, Léo Heller (Coordenador), Rodolfo José da Costa e Silva Júnior e Ysnard Machado Ennes.

Os textos assinados não refletem necessariamente a opinião da Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental

PRODUÇÃO

JRT - Publicações, Assessoria de Imprensa e Divulgação.

GRÁFICA

Editora Brasil América S.A. - EBAL
Rua General Américo de Moura, 302-320 - São Cristóvão - CEP 20921-060 - Rio de Janeiro - RJ - Tel.: (021) 580-0303 - Fax: (021) 580-1637.

CORRESPONDÊNCIA

Revista Engenharia Sanitária e Ambiental
At. Assessoria de Comunicação Social
Avenida Beira Mar, 216 - 13º andar - CEP 20021-060 - Rio de Janeiro - RJ - Brasil - Tel.: (021) 210-3221 - Fax (021) 262-6838.



EXPEDIENTE

S U M Á R I O

1. PRIMEIRA PÁGINA

REFLEXO DE MAIS UMA CONQUISTA
Clovis Francisco do Nascimento Filho

2. EXPEDIENTE

3. EDITORIAL

UM VEÍCULO IMPORTANTE PARA O SETOR
Conselho Editorial da ABES

4. LIVROS

Fundo Editorial da ABES

6. NOTA TÉCNICA

PERÓXIDO DE HIDROGÊNIO
NO TRATAMENTO DE ÁGUA
Neiroberto Silva e Mário Sérgio Avezú

8. ARTIGO TÉCNICO

OCCORRÊNCIA DE INCRUSTAÇÕES NAS
PAREDES INTERNAS DOS TUBOS DE
REDES DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA
Luiz Di Bernardo et al.

14. ARTIGO TÉCNICO

PERSPECTIVAS DE REMOÇÃO DE COR
(SUBSTÂNCIAS HÚMICAS) DE ÁGUAS
DESTINADAS AO ABASTECIMENTO
PÚBLICO, MEDIANTE PROCESSO
BIOLÓGICO
Sandra Tédde Santaella, José Roberto Campos e Idalio Lopes Linhares

18. ARTIGO TÉCNICO

A INFLUÊNCIA DA IDADE DO LODO NO
DIMENSIONAMENTO DE SISTEMAS DE
LODOS ATIVADOS
Marcos von Sperling

28. ARTIGO TÉCNICO

CHUVAS ÁCIDAS: DETECÇÃO E
EVOLUÇÃO DO FENÔMENO
A NÍVEL MUNDIAL
Débora Vallory Figueredo

34. REGULAMENTO



Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental - ABES

Registro Civil das Pessoas Jurídicas Nº 16.896.
CGC. 33.945.15/0001-81. Ins. Munic. 393.225.00.
Registro no Conselho Federal de Mão-de-Obra sob nº 781. Registrada na Embratur (Organização de Eventos) sob Nº 04375-00-71-3.

Seção Brasileira de Asociación Interamericana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental - AIDIS.

DIRETORIA NACIONAL

Presidente
Clovis Francisco do Nascimento Filho

Vice-Presidente
Mário Pero Tinoco

Diretores

Cícero Onofre de Andrade Neto; Ellen Martha Goettmans; Inês Martins de Oliveira Alves; José Antônio da Cunha Melo; Tulipan de Jesus dos Prazeres Campos.

Secretário Geral

Guarany Marques Viana

Secretário Geral Adjunto

Bertoldo Silva Costa

Tesoureiro Geral

Rodolfo José da Silva e Costa Júnior

Tesoureiro Geral Adjunto

Aloísio Souza da Silva

CONSELHO DIRETOR

Augustin Gonzalez Garcia; Aloísio de Araújo Prince; Antônio Edésio Jungles; Antônio Olavo de Almeida Fraga Lima; Darcí Banach Campani; Eduardo Pacheco Jordão; Epifânio Costa Filho; Evandro Rodrigues de Brito; Fernando Otto von Sperling; Fernando Penna Botafogo Gonçalves; Hélio Augusto Machado Pessoa; Heloísa Helena Pinheiro Fiori; Izabel Cristiana Chiodi de Freitas; Jane Maria Codevilla Palma; Jorge Luís Paes Rios; José Carlos de Alencar Pimentel Duarte; José Eduardo Ramalho Ortigão; José Leomax dos Santos; Kouji Kitahara; Léo Heller; Luiz Maria Camacho Leal; Manuel Osvaldo Senra Alvares da Silva; Mário Otsubo; Masato Terada; Paulo Bezenil Júnior; Paulo Ferreira; Plínio Montoro Filho;

Sérgio França Leão; Wagner Luiz Bertolotto; e, Yara Teixeira Cavalcante.

CONSELHO FISCAL

Titulares: Carlos Eduardo Tirone; Leda Lúcia Teixeira Portela; e, Marcos Heleno Fernandes Montenegro.

Suplentes: Miguel Fernández y Fernández e Valter Vilela Cunha.

SUPERINTENDÊNCIA EXECUTIVA

Superintendente: Roberto Souza Barros;
Gerente de Desenvolvimento e
Treinamento: Vasti Moura Ribeiro; **Gerente**
Financeiro: João Batista Paiva; **Gerente de**
Promoções e Marketing: Alcécio Costa.

Estatuto em vigor

Aprovado pela Reunião Extraordinária do Conselho Diretor de 9 de agosto de 1985 e referendado na Assembleia Geral Extraordinária de 22 de agosto de 1985, durante o 13º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, em Maceió, AL. Teve alterada a redação do parágrafo 1º do Artigo 85 e excluídos, por superados, os artigos 89 e 90 das Disposições Transitórias, conforme Assembleia Geral Extraordinária de 06 de novembro de 1992. Protocolo Nº 308.905 do Livro "A" Nº 27, no Registro Civil das Pessoas Jurídicas do Rio de Janeiro em 08 de novembro de 1985 e citação no Diário Oficial do Estado do Rio de Janeiro 05 de novembro de 1985, folha 6, Parte V.

SEÇÕES REGIONAIS E SEUS PRESIDENTES

ALAGOAS: José Roberto Valois Lobo - Rua Capitão Samuel Lins, 100 - Farol - 57021-130 - Maceió-AL. **AMAPÁ:** Demétrio Celestino P. da Costa - Av. Ernesto Borges, 222 - Lagoinha - 68908-010 - Macapá-AP. **AMAZONAS:** Waldir Santos Brito - Rua Cel. Ferreira de Araújo, 915 - Petrópolis - 69063-000 - Manaus-AM. **BAHIA:** Emanuel Silveira Mendonça - Alameda das Espátulas, 479 - Sala 203 - Carminho das Árvores - 41820-460 - Salvador-BA. **CEARÁ:** Ângela M. Fechine Dantas de Moura - Rua Padre Luiz Figueira, 659 - Aldeota - 60150-120 - Fortaleza-CE. **DISTRITO FEDERAL:** Eliana Fortis Silveira Arjos - SCS Quadra 06, Sala 521 - Ed. José Severo - 70326-960 - Brasília-DF. **ESPIRITO SANTO:** Edmilson Costa Teixeira.

AC: DHS/CT/UFES - Caixa Postal: 01-9011 - 29060-970 - Vitória-ES. **GOIÁS:** João Bosco de Andrade - Av. 2ª Radial, 440 - Quadra 119, Lt. 10 - Setor Pedro Ludovico - 74820-090 - Goiânia-GO. **MARANHÃO:** Mario Rogério Maranhão Pinto - Travessa Silva Jardim, 307 - Centro - 65020-560 - São Luiz-MA. **MATO GROSSO:** Aliton Gomes da Silva - Av. Jurumirim, S/N - SANEMAT - Caramuru - 78050-000 - Cuiabá-MT. **MATO GROSSO DO SUL:** Marize Lechuga de M. Boranga - Rua Belizário Lima, 263 - 3º and. - Div. Saneamento CEF - 79004-270 - Campo Grande-MS. **MINAS GERAIS:** Cassilda Teixeira de Carvalho - Av. do Contorno, 842 - Sala 702 - Centro - 30110-060 - Belo Horizonte-MG. **PARÁ:** José Almir R. Pereira - Av. Duque de Caxias, 160 - Loja 12 - São Brás - 66090-250 - Belém-PA. **PARAÍBA:** Antônio Batista Guedes - Av. Duque de Caxias, 232, 1º and. - Centro - 58010-821 - João Pessoa-PB. **PARANÁ:** Nicolau Leopoldo Obladen - ISAM-PUC - Rua Imaculada Conceição, 1155 - Prado Velho - 80215-901 - Curitiba-PR. **PERNAMBUCO:** Antônio Geraldo Brandão Alves - Rua Real da Torre, 501 - Madalena - 50610-000 - Recife-PE. **PIAUÍ:** Carlos Gomes Correia Lima - Av. Marechal Castelo Branco, 101 - Centro - 64000-810 - Teresina-PI. **RIO DE JANEIRO:** Japer Padrão do Espírito Santo - Avenida Beira Mar, 216 - 11º andar - Castelo - 20021-060 - Rio de Janeiro-RJ. **RIO GRANDE DO NORTE:** Maria Geny Formiga de Farias - Av. Engº Roberto Freire, 2951 - Bl. 02 - Sala 5 - CCAB Sul - 59080-400 - Natal-RN. **RIO GRANDE DO SUL:** Paulo Renato Paim - Rua São Vicente, 362/17 - Santa Cecília - 90620-180 - Porto Alegre-RS. **RONDÔNIA:** João Batista Zibetti - Av. Costa e Silva, esq. com Av. Jorge Teixeira - Prédio SUDECO - Pavimento Superior - 78900-000 - Porto Velho-RO. **RORAIMA:** Sérgio Antônio Gonçalves - Rua L - 15, 400 - Paraviana - 69307-270 - Boa Vista-RR. **SANTA CATARINA:** André Labanowski - Rua dos Ithéus, 38 - Sala 1206 - Centro - 88010-560 - Florianópolis-SC. **SÃO PAULO:** Orlando Zulliani Casselari - Rua Costa Carvalho, 234 - Pinheiros - 05429-000 - São Paulo-SP. **SERGIPE:** Roberto Leite - Rua Campo do Brito, 331 - DESO - Praia 13 de Julho - 49020-380 - Aracaju-SE. **TOCANTINS:** Isac Braz da Cunha - ARCE 61 QI "F" Lt. 24 - Centro - 77134-070 - Palmas do Tocantins-TO.

OCORRÊNCIA DE INCRUSTAÇÕES NAS PAREDES INTERNAS DOS TUBOS DE REDES DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA

D 5360

Luiz Di Bernardo 507814

Professor Titular do Departamento de Hidráulica e Saneamento
da Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo.

Paulo Fragiácomo, Maria Aparecida Perez Viudez, Júlio Cesar Trofino e José Miguel Derigi
Técnicos Especializados de Nível Superior do Laboratório de Saneamento.

No presente trabalho são apresentados os resultados de estudos realizados em uma cidade que trata água de superfície, a qual possui, em certas épocas do ano, teores relativamente elevados de ferro e de manganês. Com o surgimento de água de cor amarela e contendo partículas suspensas de cor negra na rede de distribuição e ramais domiciliares, tem havido muitas reclamações por parte dos usuários. Foram analisadas cinco amostras de água coletadas em pontos diferentes do sistema e caracterizado o material incrustado na parede interna das tubulações, tendo-se concluído que o pentoxitetra-hidróxido de ferro e silício di-hidratado, conhecido como hisingerita, foi o composto predominante no material e responsável pela diminuição do pH da água na rede de distribuição, causando a coloração da água.

Palavras-chave: Tratamento de Água, Ferro e Manganês, Incrustação em Tubos, Rede de Distribuição.

A água bruta afluenta a uma estação de tratamento ou a água extraída de um poço pode conter ferro e manganês solúveis em teores relativamente altos, e se não forem removidos, poderão estar presentes nas redes de distribuição e ramais domiciliares, na forma de precipitados, e causar sérios inconvenientes aos usuários, além da possibilidade de formar depósitos nas paredes internas das tubulações, com conseqüente redução da seção de escoamento. Isso tem sido observado em águas subterrâneas após a desinfecção com sais de cloro (por exemplo, hipoclorito de sódio), o que causa aumento do pH e contribui para a formação de hidróxido de ferro e óxido de manganês, principalmente. Em estações de tratamento de águas superficiais, é comum a presença de ferro e de manganês solúveis na água filtrada quando a coagulação é realizada em valores de pH menores que 7, principalmente quando o sulfato de alumínio é o coagulante empregado; com a correção final de pH, há possibilidade da formação dos precipitados desses metais e, eventualmente, de outros produtos químicos. Tanto no caso de águas subterrâneas quanto no de águas superficiais, podem surgir incrustações nas paredes internas das tubulações, que não são decorrentes da corrosão, mas sim, do fenômeno citado.

No presente trabalho é relatada a experiência realizada em uma cidade, em cuja estação de tratamento de água - ETA, durante muito tempo, foi empregado sulfato de alumínio para a coagulação de água superficial, em valores de pH por volta de 6,5 a 7,0. Tendo sido constantemente observada a presença de precipitados de ferro e de manganês na água tratada, após a

correção de pH, foram efetuados estudos de tratabilidade em laboratório empregando cloreto férrico com o fim de promover a coagulação em valores de pH mais elevados, visando a formação dos precipitados desses metais e sua remoção. Adicionalmente foram estudados alguns oxidantes, tais como cloro e permanganato de potássio, uma vez que havia sido detectada a ocorrência desses metais complexados a matéria orgânica, já que os teores obtidos sem digestão das amostras de água bruta foram menores que os observados nas amostras digeridas. Em função dos estudos realizados, concluiu-se que a coagulação com o cloreto férrico em valores de pH entre 8,5 e 9,5 tais metais eram praticamente eliminados durante a sedimentação e filtração em papel de filtro, mesmo sem o emprego de pré-oxidante. Com a aplicação dos resultados de laboratório na ETA, foi comprovada a redução dos teores de ferro e de manganês a valores muito baixos na água filtrada, geralmente inferiores a 0,05 e 0,01mg/l, respectivamente, de forma que o cloreto férrico passou a ser empregado continuamente a partir de março de 1994. Além disso, a turbidez da água decantada diminuiu consideravelmente, da ordem de 5,0 a 7,0 uT para cerca de 1,5 a 3,0 uT, aumentando com isso, a duração das carreiras de filtração de aproximadamente 24 h para 60 h (2).

Como em algumas épocas do ano, os teores de ferro e manganês eram relativamente baixos na água bruta, a coagulação, por razões econômicas, passou a ser realizada em valores de pH por volta de 7. Coincidentemente, nessas ocasiões, cresceu acentuadamente o número de reclamações

0912936

SYSNO 0912936

PROD 002369

por parte dos usuários, sobre a ocorrência de água com cor amarela, devido, provavelmente, à presença de hidróxido de ferro, e contendo partículas suspensas com cor negra, decorrente, possivelmente, de óxido de manganês nos ramais domiciliares.

A coleta de amostra de água tratada no final da câmara de desinfecção, após correção de pH, revelou a presença de 0,05 mg/l de ferro total e de 0,005 mg/l de manganês total, de forma que o efluente da estação de tratamento não era responsável direto pelo problema surgido, o que exigiu a execução de estudos mais abrangentes, envolvendo a rede de distribuição, conforme relatado a seguir.

2. INVESTIGAÇÃO EXPERIMENTAL

O trabalho experimental foi dividido em três fases, a saber: a) caracterização de amostras de água coletadas em cinco pontos da rede de distribuição; b) caracterização do material incrustado nas paredes internas das tubulações; c) ensaios de coagulação, floculação e decantação em equipamento de laboratório e filtração do sobrenadante em papel de filtro whatman 40.

2.1 Fase I - Caracterização das Amostras de Água Distribuída e Discussão dos Resultados

Nessa fase dos estudos foram realizados dois tipos de atividades: medição dos principais parâmetros de qualidade e execução de ensaios para obtenção do índice de saturação. Na Tabela 1 são apresentados os dados de qualidade das amostras de água coletadas em cinco pontos da rede de distribuição. As amostras de água discriminadas na Tabela 1 foram coletadas nos seguintes locais:

- amostra 1: saída da tubulação de descarga distante cerca de 1.500m da ETA.

- amostra 2: saída da tubulação de descarga distante cerca de 1.000m da ETA.

- amostra 3: saída de filtro de pressão, contendo carvão ativado, instalado no ramal predial de uma residência, distante aproximadamente 2.500m da ETA.

- amostra 4: saída do reservatório elevado localizado próximo a ETA.

- amostra 5: saída da câmara de contato da ETA.

Na tabela 2 são apresentados os resultados dos ensaios realizados e os respectivos valores do índice de saturação de cada amostra de água, na qual têm-se as seguintes definições: pHr = pH da amostra medido após a adição de cal; A T = alcalinidade total; D T = dureza total; STD = sólidos totais dissolvidos; pHs = pH de saturação; IS = índice de saturação ou índice de Langelier. O pH de saturação pode ser calculado pela equação 1. O valor $pK_2 - pK_3$ é obtido em tabelas de livros especializados em função dos teores de cálcio e de sólidos totais dissolvidos, e da temperatura, sendo K_2 a segunda

constante da dissociação ácido carbônico e K_3 a constante de solubilidade do carbonato de cálcio. O termo pAT é igual ao logaritmo do inverso da alcalinidade e pCa é igual ao logaritmo do inverso do teor de cálcio.

$$pH_s \equiv pCa + pAT + (pK_2 - pK_3) \quad (1)$$

Com relação às amostras 4 e 5, coletadas respectivamente, na saída do reservatório elevado e na saída da câmara de contato, pode-se afirmar que, face aos parâmetros de qualidade medidos, a água saindo da ETA atende a Portaria 36/GM (3). O mesmo pode ser dito sobre a amostra 3, coletada na saída do filtro domiciliar. No entanto, as amostras 1 e 2 apresentaram cor, turbidez, teor de ferro e de manganês bem maiores que os valores limites constantes da portaria 36/GM (1). Ademais, o teor de cloro resultou igual a zero nestas amostras, indicando que esse oxidante pode ter sido consumido pelo material incrustado nas paredes internas das tubulações. Como os teores de ferro e de manganês foram relativamente altos nas descargas da rede e praticamente iguais a zero na saída da câmara de contato, concluiu-se que ou havia material incrustado nas tubulações ou a taxa de corrosão era muito elevada. Percebe-se na Tabela 2 que é negativo o índice de saturação da água na rede de distribuição e também na saída da estação de tratamento, configurando uma situação em que a água fosse assumida como agressiva e estivesse contribuindo sobre maneira para a ocorrência de água amarela na rede de distribuição. Entretanto, como a incrustação também foi observada em tubulações de PVC, admitiu-se que a ocorrência de água amarela era devida, principalmente, à presença de material incrustado durante o período em que foi empregado o sulfato de alumínio como coagulante.

TABELA 1
Caracterização das Amostras de Água na Rede de Distribuição e na ETA

PARÂMETRO	AMOSTRA				
	1	2	3	4	5
pH	6,7	7,1	6,8	7,5	7,4
Temperatura (°C)	24,0	24,0	23,5	25,0	26,0
Cor aparente (uC)	400	250	2,5	5	5
Cor verdadeira (uC)	2,5	2,5	< 2,5	< 2,5	< 2,5
Turbidez (uT)	60	15	0,3	0,56	0,53
Alcalinidade total (mg CaCO ₃ /l)	16,0	15,0	14,0	12,0	17,0
Dureza total (mg CaCO ₃ /l)	55,0	51,0	51,0	51,0	51,0
Ferro total (mg Fe/l)	6,3	3,1	ND	ND	ND
Manganês total (mg Mn/l)	0,21	0,12	ND	0,01	0,01
Condutividade elétrica (µMho/cm)	130	130	140	140	140
Cloretos (mg/l)	24,0	24,0	24,0	22,0	20,0
Sulfatos (mg/l)	4,6	4,4	3,2	3,5	3,8
Sólidos totais (mg/l)	178	169	146	131	89
Sólidos totais fixos (mg/l)	27	20	82	67	12
Sólidos totais voláteis (mg/l)	151	149	64	64	77
Sólidos suspensos totais (mg/l)	34	17	2	5	3
Sólidos suspensos voláteis (mg/l)	25	13	1	1	1
Sólidos suspensos fixos (mg/l)	9	4	1	4	2
Sólidos dissolvidos totais (mg/l)	144	152	144	126	86
Sólidos dissolvidos voláteis (mg/l)	2	7	81	66	11
Sólidos dissolvidos fixos (mg/l)	142	145	63	60	75
Cloro residual (mg/l)	0	0	0	0,4	0,6
ND: não detectado					

2.2 Fase II - Caracterização do Material Incrustado nas Paredes Internas das Tubulações

2.2.1 Amostras dos Tubos da Rede de Distribuição

Foram extraídos dois segmentos de tubo em dois locais distintos da rede de distribuição, com aproximadamente 30 cm de comprimento e 50 mm de diâmetro. Nas fotos da Figura 1 são mostrados os segmentos de tubo, um deles seccionado longitudinalmente, percebendo-se a quantidade extremamente elevada de material incrustado de cor amarela escura na foto 1 e predominantemente negra na foto 2. No primeiro caso é possível que tenha havido predominância de ferro e, no segundo, de manganês. Utilizando-se lenço branco, na saída de torneiras dos ramais domiciliares de algumas residências próximas aos locais em que foram extraídos os tubos, observou-se, após alguns segundos, que o mesmo tomava-se amarelado e com pontos negros, configurando a presença de precipitados de ferro e de manganês, embora não se soubesse que tipo de composto predominava.

2.2.2 Dissolução do Material Incrustado em Ácido Nítrico e Ácido Clorídrico Concentrados

Utilizando-se os segmentos de tubo de cada local de rede de distribuição, foi feita a raspagem da sua parede interna, extraindo-se amostras dos materiais que se encontravam incrustados. O material extraído foi misturado e fragmentado, e tomadas 2 amostras de 500 mg do mesmo, tendo sido posteriormente diluídas em 500 ml de ácido nítrico concentrado e em 500 ml de ácido clorídrico concentrado. Em seguida, foram medidas as concentrações de ferro e de manganês nessas soluções, tendo resultado:

- Em solução concentrada de ácido nítrico
 - teor de ferro = 400 mg/l
 - teor de manganês: 0,44 mg/l
- Em solução concentrada de ácido clorídrico
 - teor de ferro = 150 mg/l
 - teor de manganês: 0,32 mg/l

TABELA 2
Índice de Saturação das Amostras de Água

AMOSTRA	pHr	A T (mgCaCO ₃ /l)	D T (mgCaCO ₃ /l)	STD (mg/l)	pHs	Is = pHr - pHs
1	6,7	16	55	144	8,92	- 2,22
1	8,0	19	55	220	8,91	- 0,91
1	8,5	21	57	225	8,81	- 0,31
1	9,0	23	59	230	8,77	+ 0,23
2	7,1	14	51	187	9,04	- 1,94
2	8,0	17	54	219	8,91	- 0,91
2	8,5	18	55	225	8,91	- 0,41
2	9,0	24	63	235	8,73	+ 0,27
3	6,8	14	51	144	9,01	- 2,21
3	8,0	17	55	158	8,90	- 0,90
3	8,5	19	56	165	8,85	- 0,35
3	9,0	20	57	185	8,84	+ 0,16
4	7,5	12	51	126	9,07	- 1,57
4	8,0	15	47	183	9,06	- 1,06
4	8,5	16	51	185	8,99	- 0,49
4	9,0	19	55	188	8,86	+ 0,14
5	7,4	16	45	163	9,02	- 1,62
5	8,0	23	51	177	8,81	- 0,81
5	8,5	24	53	180	8,77	- 0,27
5	9,0	26	55	185	8,74	+ 0,26

Em função da concentração molar dos ácidos empregados, as concentrações de ferro e de manganês foram expressas em massa por massa, sendo:

- Em solução concentrada de ácido nítrico:
 - concentração de ferro = 400 Fe/g de material incrustado;
 - concentração de manganês: 0,44 mg Mn/g de material incrustado.
- Em solução concentrada de ácido clorídrico:
 - concentração de ferro = 150 mg Fe/g de material incrustado;
 - concentração de manganês: 0,32 mg Mn/g de material incrustado.

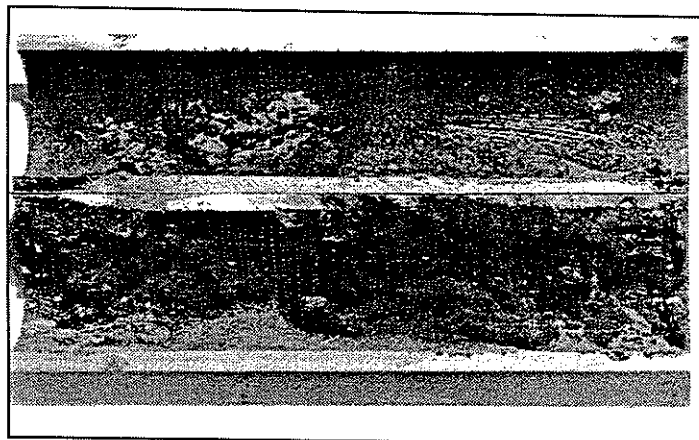
Nota-se que o ferro apresenta-se em quantidade relativamente alta quando comparada à de manganês no material incrustado, o que era de se esperar, uma vez que na água bruta, em algumas épocas do ano, o teor de ferro chega a ser dez vezes maior que o de manganês.

FIGURA 1 - Amostras dos Tubos da Rede de Distribuição

Foto 1 - Segmento de Tubo Não Seccionado



Foto 2 - Segmento de Tubo Seccionado



Como visto anteriormente, a água tratada deixando a ETA na época de realização dos estudos praticamente não continha ferro e manganês solúveis ou na forma de precipitados, razão pela qual supôs-se que o material raspado e analisado deva ter aderido às paredes internas das tubulações durante muitos anos, anteriormente às alterações efetuadas na coagulação, com emprego de cloreto de férrico em lugar do sulfato de alumínio.

2.2.3 Características da Água em Contato com o Material Incrustado nos Tubos

Tendo em vista os resultados obtidos nos itens 2.1 e 2.2.2 e a constatação de que o material incrustado era basicamente igual nas duas amostras de tubos da rede de distribuição, os mesmos foram preenchidos com água, com o tubo 1 recebendo água da amostra 4 (saída do reservatório de distribuição da ETA) e o tubo 2, com água da amostra 4 após elevação de seu pH para 9.

Amostra de Tubo 1

- após 6 horas de contato: pH = 6,45; turbidez = 85 uT; ferro total = 11,0 mg/l; manganês total = 0,37 mg/l; cor predominante = amarela escura.

- após 12 horas de contato: pH = 6,15; turbidez = 100 uT; ferro total = 14,0 mg/l; manganês total = 0,65 mg/l; cor predominante = amarela escura.

Amostra de Tubo 2

- após 6 horas de contato: pH = 6,95; turbidez = 67 uT; ferro total = 3,0 mg/l; manganês total = 0,23 mg/l; cor predominante = amarela.

- após 12 horas de contato: pH = 6,85; turbidez = 78 uT; ferro total = 8,3 mg/l; manganês total = 0,46 mg/l; cor predominante = amarela.

Tais resultados mostram claramente que o material incrustado na parede interna das tubulações possuía caráter ácido, o que indicou a necessidade da execução de ensaios complementares para observar o que ocorria após a adição do material em pó em água de diferentes qualidades.

Ensaio 1: foram adicionadas 100 g do material em pó em um volume de 200 ml de água destilada com pH = 7,0; após cerca de 10 min. de agitação contínua, o pH diminuiu para 4,5.

Ensaio 2: foram adicionadas 100 g do material em pó em um volume de 200 ml de água destilada com pH elevado para 9,0; após cerca de 10 min. de agitação contínua, o pH da água diminuiu para 6,8; novamente foi adicionado alcalinizante com o fim de elevar o pH para 9,0; após 3 horas, o pH da água diminuiu para 8,3.

Ensaio 3: o sobrenadante coletado no frasco de ensaio 2, após 24 horas de repouso, teve seu pH corrigido para 9,0 e recebeu 100 g do material em pó; após 24 horas, o pH da água diminuiu para 7,7.

Com base nesses ensaios, foi confirmado o caráter ácido do material incrustado na parede interna das tubulações e que tal fenômeno ocorria continuamente, isto é, mesmo que a todo momento a água afluyente à tubulação chegasse com pH elevado, este parâmetro iria diminuir, pois deveria ser muito elevada a concentração dos produtos químicos existentes no material incrustado que liberavam íons H^+ .

2.2.4 Difração do Material Incrustado em Equipamento de Raio X

Em aparelho especial de difração de Raio X, foram detectadas várias substâncias, incluindo diversos elementos, tais como magnésio, titânio, alumínio, cromo, manganês, ferro,

cádmio, lítio, cobre, sódio, potássio, silício, etc. Foi efetuado um ensaio de varredura detalhado da amostra (pó) do material incrustado constatando-se que os principais constituintes eram: $Fe_2Si_2O_5(OH)_4 \times 2H_2O$ (pentóxi-tetrahidróxido de ferro e silício di-hidratado), Cu_2O (óxido de cobre), $MgFe_2O_4$ (óxido duplo de magnésio e ferro) e MnO_2 . Além do cobre, os elementos mais significativos foram ferro e manganês. O principal constituinte detectado no material incrustado, pentóxi-tetrahidróxido de ferro e silício di-hidratado - também conhecido por hisingerita - é hidrolisado em contato com a água e libera íons H^+ , causando a diminuição do pH, o que explica o ocorrido nos ensaios anteriores, especialmente os do item 2.2.3.

2.3 Fase 3 - Ensaios com Água Bruta Afluyente à ETA

Tendo em vista a necessidade do conhecimento das condições de coagulação com cloreto férrico em diferentes valores de pH e a eficiência de remoção de turbidez, cor aparente, ferro, manganês, foram realizados ensaios em equipamento de laboratório constituído de reatores estáticos, para as seguintes condições: coagulante (cloreto férrico); alcalinizante (cal hidratada); mistura rápida (tempo de agitação = 60 s; gradiente de velocidade - $100 s^{-1}$); floculação (tempo de agitação = 20 min; gradiente de velocidade = $30 s^{-1}$); sedimentação (velocidade de sedimentação para a coleta do sobrenadante = 4,6 cm/min.); filtração do sobrenadante decantado (papel de filtro Whatman 40).

Na tabela 3 são apresentadas as características da água bruta, para a qual foram realizados os ensaios dessa fase. Na Tabela 4 são mostrados os resultados obtidos para a água decantada e filtrada. Com amostras da água filtrada para as diferentes condições de coagulação constantes da Tabela 4, foram realizados ensaios de estabilização, visando obtenção de valores positivos do índice de saturação.

TABELA 3
Características de Água Bruta

PARÂMETRO DE QUALIDADE	VALOR
pH	7,0
Temperatura (°C)	25
Turbidez (uT)	20
Cor aparente (uC)	80
Alcalinidade total (mg $CaCO_3/l$)	21,0
Dureza total (mg $CaCO_3/l$)	21,0
Condutividade elétrica ($\mu S/cm$)	52,0
Ferro total (mgFe/l)	0,63
Manganês total (mg Mn/l)	ND
ND: não detectado	

Observa-se na Tabela 3 que, na época da coleta da amostra de água bruta para execução dos estudos dessa fase, não foi detectada a presença de manganês, embora na água distribuída à população ainda fosse observada a ocorrência de água amarela com partículas suspensas de cor negra, o que mais uma vez indicou o arrastamento do material incrustado nas paredes internas das tubulações. Vale ressaltar que, por ocasião da execução de descargas em alguns pontos da rede, a água descarregada vinha apresentando intensa coloração negra inicialmente e amarelada após um certo tempo. O número de reclamações por parte dos usuários era elevadíssimo logo após a execução de uma descarga na rede. Nota-se na Tabela 4 que

TABELA 4
Resultados dos Ensaio de Coagulação, Floculação, Decantação e Filtração em Papel de Filtro

FRASCO	DOSAGEM (mg/l)		pH COAGULADO	ÁGUA DECANTADA			ÁGUA FILTRADA		
	Cal	Cloreto Férrico		Turbidez (uT)	Cor Apar. (uC)	Ferro (mg/l)	Turbidez (uT)	Cor Apar. (uC)	Ferro (mg/l)
1	7	20	7,4	4,5	35	1,3	0,60	< 2,5	ND
2	18	47	7,6	2,0	10	0,5	0,32	< 2,5	ND
3	22	47	8,5	1,9	7,5	0,21	0,26	< 2,5	ND
4	26	47	9,0	2,5	15	0,13	0,26	< 2,5	ND
5	14	35	8,0	2,7	20	0,18	0,35	< 2,5	ND
6	18	35	8,5	3,3	25	0,22	0,41	< 2,5	ND

ND = não detectado

TABELA 5
Resultados dos Estabilização das Amostras de Água Filtrada

AMOSTRA	pH DA AMOSTRA	pH APÓS ADIÇÃO DE CAL	ALCALINIDADE (mg/l) (CaCO ₃)	DUREZA TOTAL (mg/l) (CaCO ₃)	SÓLIDOS TOTAIS DISSOLVIDOS (mg/l)	ÍNDICE DE SATURAÇÃO (I S)
1	7,4	8,7 a 9,0	34 a 35	52 a 53	74 a 84	+ 0,10 a + 0,49
2	7,6	8,7 a 9,0	35 a 36	58 a 59	112 a 124	+ 0,05 a + 0,48
3	8,5	8,7 a 9,0	36 a 37	54 a 55	128 a 132	+ 0,05 a + 0,48
4	9,0	9,0	33	65	220	+ 0,44
5	8,0	8,7 a 9,0	33 a 36	48 a 63	118 a 196	+ 0,05 a + 0,47
6	8,5	8,7 a 9,0	30 a 39	46 a 61	84 a 96	+ 0,10 a + 0,57

a turbidez, cor aparente e ferro são eficientemente removidos da água bruta, tanto na água decantada quanto na filtrada em papel de filtro para as condições de coagulação, com dosagem de cloreto férrico entre 35 e 47 mg/l e pH de coagulação entre 8,5 e 9,0. Para essas condições, observa-se na Tabela 5 que a água filtrada poderia ser desinfetada (com cloro gasoso, o que causa ligeira diminuição do pH) e distribuída sem ser agressiva, uma vez que o índice de saturação iria resultar entre 0 e + 0,5. Tal medida foi adotada na ETA em janeiro de 1995 e, atualmente (junho de 1995) contribuiu para reduzir a ocorrência de água amarela e, conseqüentemente, diminuir consideravelmente o número de reclamações, mesmo quando foram executadas descargas na rede de distribuição.

3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base nas visitas e estudos realizados, verificou-se que a principal causa do surgimento de água na rede de distribuição com cor amarela e contendo partículas suspensas de cor negra, era devida ao material incrustado na parede interna das tubulações existentes. Tal fenômeno foi mais acentuado nas tubulações de ferro fundido, implantadas há mais de cinquenta anos, embora nos tubos de plásticos, instalados há menos de vinte anos, também fosse observada a existência de uma película, com espessura da ordem de 5 a 10 mm, com coloração amarelada. Provavelmente, a incrustação desse material pode ter sido causada pelo fato da ETA ter funcionado até março de 1994 com sulfato de alumínio como coagulante primário, com pH de coagulação entre 6,5 e 7,0, de forma que tanto ferro quanto manganês presentes na água bruta surgiam em quantidades apreciáveis na água filtrada;

após a correção de pH, prática comum na ETA, o pH era elevado para cerca de 8,5, o que causava a formação intensa de precipitados daqueles metais e de outros produtos que incrustaram na parede interna das tubulações. Apesar da corrosão não ter sido avaliada é possível que esse fenômeno também tenha ocorrido no passado e contribuído para a ocorrência de depósitos nas tubulações.

A presença de vários compostos de diferentes metais presentes no material incrustado, mesmo com concentrações relativamente baixas, tais como lítio, sódio, magnésio, cobre, alumínio, titânio, cádmio, etc, pode ter sido causada por corrosão de tubulações metálicas e juntas, tanto na estação quanto na rede de distribuição, pois a água distribuída apresentava índice de saturação geralmente negativo. A presença de alumínio no material incrustado indica que, durante o longo tempo em que tal coagulante foi empregado na ETA, precipitados desse metal podem ter sido formados após a correção final de pH. É possível também que o sulfato de alumínio granulado empregado na ETA contivesse alguns daqueles metais detectados no material incrustado. Entretanto, como esse material também foi observado em tubulações de plástico, a causa mais provável da ocorrência do fenômeno deve ter sido a formação de compostos insolúveis de ferro e de manganês na água tratada na ETA.

O material incrustado nas paredes internas das tubulações possuía caráter ácido, conforme comprovado nos ensaios em que foi introduzida água com pH elevado nos segmentos de tubos da rede de distribuição. A análise do material incrustado por difração de Raio X revelou que os principais constituintes eram óxidos, hidróxidos e sais

contendo ferro manganês, cobre e silício, com destaque ao composto pentoxiteta-hidróxido de ferro e silício di-hidratado $\text{Fe}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (hisingerita), o qual em contato com a água, é hidrolisado e libera íons H^+ para o meio aquoso, causando redução de pH e contribui para a dissolução de outros metais que se encontram no material incrustado. Esse material, em contato com a água e em pH ácido, torna-se gelatinoso, podendo ser removido por meio de raspagem, hidro-jateamento ou outro método mecânico; no entanto, tais métodos poderiam concorrer para que houvesse aumento da taxa de corrosão de tubulações de ferro se a água tratada não fosse condicionada convenientemente (5). Após a raspagem do material incrustado dos segmentos de tubos estudados, não foi observado na sua superfície interna vestígios de corrosão acentuada, tais como "pits", o que reforça a hipótese da deposição contínua de ferro e de manganês, principalmente, durante muito tempo em que a ETA empregou sulfato de alumínio como coagulante. Quando não houve contato da água com o material incrustado, tornava-se praticamente impossível removê-lo. Dificilmente este material será removido por meio de descargas na rede de distribuição, a não ser que sejam empregados produtos químicos, como por exemplo, um seqüestrante de ferro, manganês, cálcio, magnésio, etc, o que deverá ser estudado posteriormente (6).

Até que se tenha uma solução definitiva no estudo mencionado, foi sugerido aos responsáveis pela operação do sistema de abastecimento de água da comunidade que, mesmo não sendo detectados ferro e manganês em teores relativamente altos na água bruta, fosse realizada a coagulação em valores mais elevados de pH (entre 8,5 e 9,5) e se continuasse empregando o cloreto férrico como coagulante, pois tal medida, após cerca de três meses de sua implementação, contribuiu significativamente para reduzir a ocorrência de água amarela e com partículas suspensas com cor negra nas amostras de água coletadas diariamente nos ramais prediais servidos pela rede de distribuição.

BIBLIOGRAFIA

FIPAI - FUNDAÇÃO PARA O INCREMENTO DA PESQUISA APLICADA A INDÚSTRIA; Relatório sobre a Qualidade da Água de Abastecimento Tratada na ETA Fonte Luminosa de Araraquara Dez. 1994, São Carlos, Brasil.

HIDROSAN ENGENHARIA S/C LTDA; Estudos e Ensaio de Tratabilidade de Água - Estação de Tratamento de Água Fonte Luminosa de Araraquara 1994, São Carlos, Brasil.

LOEWENTHAL, R. E. & MARAIS, G. V. R.; Carbonate Chemistry of Aquatic Systems; Theory & Application - AN ARBOR SCIENCE PUBLISHERS INC., 1976, Michigan, USA.

MINISTÉRIO DA SAÚDE; Normas e Padrão de Potabilidade de Águas Destinadas ao Consumo Humano - PORTARIA 36/GM 19/01/1990, Brasil.

SANTOS, J. R. K.; Estudos sobre Corrosão Causada por Águas Brandas de Caráter Ácido em Sistemas de Distribuição de Água de Abastecimento - Tese de Doutorado - BIBLIOTECA DA ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS - USP, abr., 1995, São Carlos, Brasil.

SEAQUEST - A QUALITY PRODUCT FROM AQUA SMART; Coletânea de Estudos sobre Emprego de Seaquest - AQUA SMART 1994, Atlanta, USA.

EVENTOS ABES 1996

Mês de Abril

☛ **15 a 17** - Curso "Tecnologias Adequadas ao Tratamento de Esgotos" - Porto Alegre (RS). Instrutor: Evandro Rodrigues de Brito.

☛ **15 a 17** - Curso "Planejamento e Controle da Qualidade da Operação de Sistemas de Abastecimento de Água: Enfoque do Projeto de Engenharia" - Florianópolis (SC). Instrutor: Mário Augusto Baggio.

☛ **15 a 19** - Curso "Micromedicação nos Sistemas de Abastecimento de Água" - Recife (PE). Instrutor: Adalberto Cavalcanti Coelho.

☛ **18 a 19** - Workshop "Qualidade no Saneamento Ambiental: Critérios de Excelência do Prêmio ABES" - 5ª Reunião do Comitê de Qualidade - Rio de Janeiro (RJ).

☛ **22 a 26** - Curso "Dimensionamento e Construção de Reservatório Metálico para Sistemas de Abastecimento de Água" - Brasília (DF). Instrutores: Luiz Paulo Gomes e Stênio Monteiro de Barros.

☛ **29** - 6ª Reunião do Comitê da Qualidade - Via Embratel.

Mês de Maio

☛ **6 a 8** - Curso "Prevenção de Doenças de Veiculação Hídrica" - Macapá (AP). Instrutores: Horácio Augusto de Almeida e Rainer Pedraza Azevedo.

☛ **6 a 10** - Curso "Projeto, Construção e Gerenciamento de Aterros Sanitários e Indústrias Destinados ao Tratamento de Resíduos Sólidos" - João Pessoa (PB). Instrutor: Valdir Schalh.

☛ **8 a 11** - Curso "Proteção de Mananciais" - Palmas (TO). Instrutora: Eliana Fortis Silveira Anjos.

☛ **13 a 15** - Curso "Auditoria Ambiental" - Natal (RN). Instrutor: Sérgio Pinto Amaral.

☛ **13 a 17** - Curso "Técnicas de Recuperação de Lagos (Eutrofização)" - Brasília (DF). Instrutora: Ruth de Gouvea Duarte.

☛ **14 e 15** - Seminário Nacional "Tecnologias de Baixo Custo" - 30ª Reunião do Comitê - São Paulo (SP).

☛ **15 a 17** - Curso "Soluções Apropriadas para Tratamento de Esgotos de Pequenas Comunidades" - Goiânia (GO). Instrutor: Marcelo Antônio Teixeira Pinto.

☛ **20 a 24** - Curso "Projeto de Rede de Esgoto Sanitário com Ênfase no Modelo Condominial" - Salvador (BA). Instrutor: Cícero Onofre de Andrade Neto.