

Previsão de durabilidade de concretos preparados com agregados graníticos e calcários em túneis emissários de esgotos

ENG.^a FLÁVIA LUIZA HAUSER (*)
ENG.^o LUIZ BENONI MANZOCHI (**)

1. INTRODUÇÃO

A ampliação do sistema de Esgotos da Região Metropolitana da Grande São Paulo foi objeto dos estudos realizados no âmbito do denominado Plano Diretor SANEGRAN.

De acordo com o citado plano a Região Metropolitana será atendida por sistemas isolados e por um sistema unificado.

O sistema unificado, que cobre a região mais densamente ocupada, será composto pelos seguintes três subsistemas: Barueri, ABC e Suzano. (Ver Ilustração I).

Os interceptores dos subsistemas ABC e Suzano, já existentes na época da elaboração do Plano SANEGRAN, foram totalmente aproveitados, não se cogitando da construção de novos ramais na primeira etapa de obras.

Já o subsistema Barueri, que recebe cerca de 65% dos esgotos da área do sistema unificado, cujos interceptores desenvolvem-se ao longo dos Rios Tietê, Pinheiros e Tamanduaeté, deverá ter interceptores de grande porte construídos na primeira etapa de implantação das obras.

Em virtude da longa permanência dos esgotos nos interceptores, decorrente da grande extensão destes, e das condições climáticas, principalmente as de verão, pode-se antecipar condições favoráveis à formação de sulfetos no interior das canalizações, com influência direta na corrosão do concreto.

As análises efetuadas em amostras coletadas nos interceptores existentes confirmaram este efeito.

Assim, o projeto executivo dos interceptores do subsistema Barueri foi precedido de estudos que objetivaram:

- previsão da formação de sulfetos
- avaliação das taxas de corrosão
- proposição de medidas para atenuar os efeitos da corrosão.

2. FORMAÇÃO DE SULFETO DE HIDROGÊNIO (H₂S), ÁCIDO SULFÚRICO (H₂SO₄) E CORROSÃO

2.1. GERAÇÃO DE SULFETO DE HIDROGÊNIO

Diversos fatores influenciam a geração de sulfetos nos esgotos domésticos e industriais, dentre eles podemos citar:

- teor de enxofre existente nos compostos orgânicos e sulfatos

usualmente encontrados nos esgotos;

- temperatura do esgoto: a geração de H₂S é praticamente inexistente abaixo de 15°C atingindo o seu pico nas proximidades de 38°C;
- pH do esgoto: a redução do enxofre para H₂S ocorrerá rapidamente dentro da faixa de pH entre 5,5 e 8,5 (valores de pH comumente encontrados em esgotos domésticos);
- ausência de oxigênio livre no esgoto.

Somente sob condições anaeróbicas é que os compostos orgânicos de enxofre e os sais inorgânicos de enxofre (SO₄⁻²) são atacados por bactérias anaeróbicas ou facultativas que reduzem o enxofre a H₂S. Durante este processo, matéria orgânica é oxidada fornecendo energia e alimento para o crescimento destes organismos, podendo ser a DBO do esgoto portanto, um fator limitante na quantidade de H₂S gerada.

Os sulfetos gerados apresentam-se no esgoto sob a forma de sulfetos solúveis (sulfeto de hidrogênio H₂S e íon hidrosulfeto HS⁻) e sulfetos insolúveis, como sulfeto de ferro (FeS), sulfeto de zinco (ZnS), etc.

Apenas os sulfetos solúveis, sob a forma de H₂S, é que escapam do líquido para a atmosfera.

(*) Engenheira do Departamento de Saneamento da HIDROSERVICE Engenharia de Projetos Ltda.

(**) Chefe do Departamento de Saneamento da HIDROSERVICE Engenharia de Projetos Ltda.

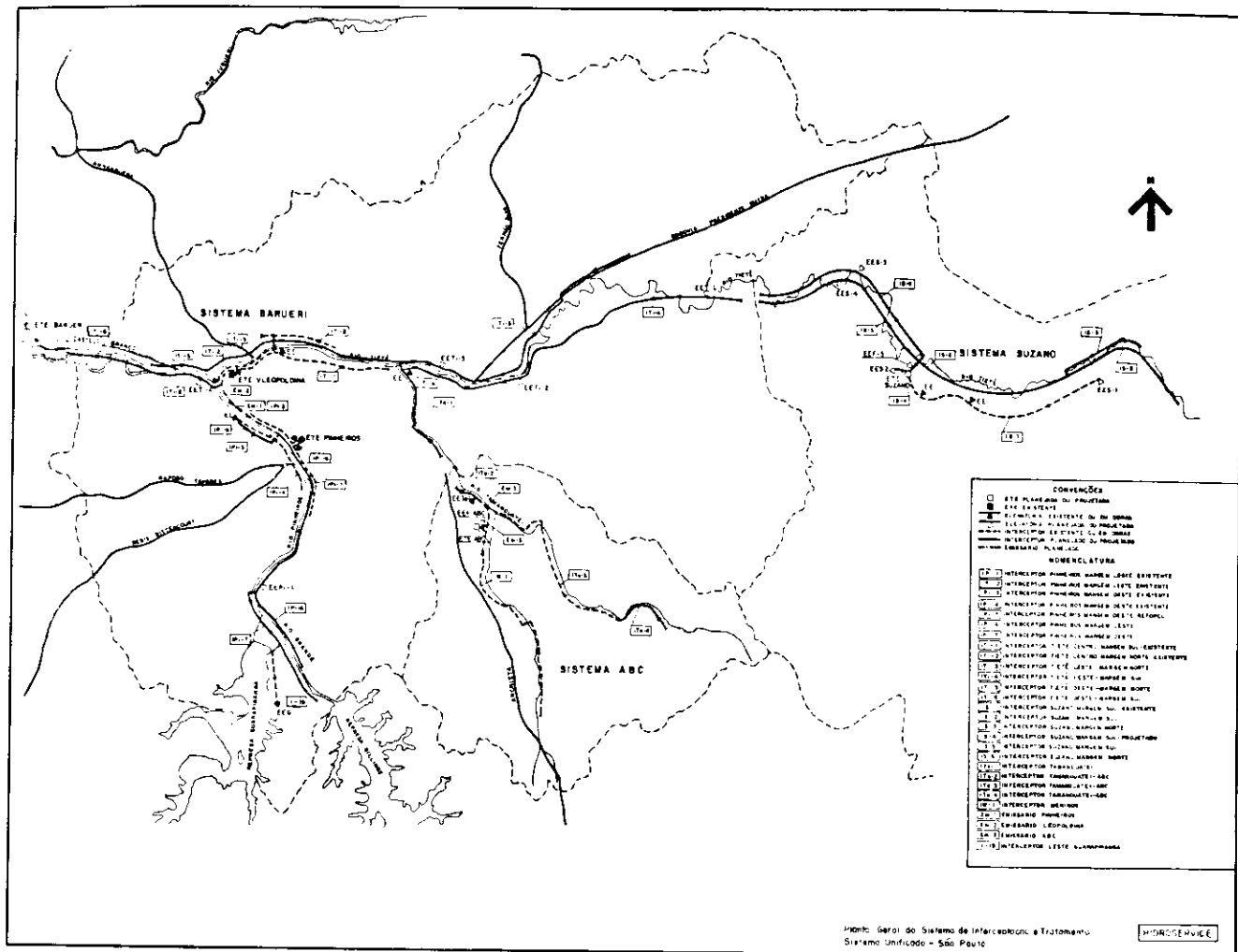
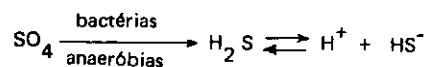
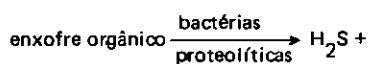


Ilustração 1

A geração de H_2S pode ser hipoteticamente esquematizada como segue:



A região de produção de H_2S em tubulações tem sido objeto de estudos há vários anos. Concluiu-se que no caso de esgotos aeróbios, as camadas de limo depositadas nas paredes da tubulação são as principais fontes de geração de sulfetos. Portanto, a ausência destas camadas de limo implica na ausência de H_2S . Caso o esgoto apresente velocidades suficientemente elevadas, a ação de arraste impede a deposição de limo ou minimiza a espessura deste sobre a tubulação. Estas mesmas velocidades mantêm o esgoto bastante aerado devido à turbulência e, conseqüentemente, também as camadas de limo.

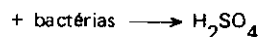
Havendo, entretanto, menor teor de oxigênio no esgoto, uma camada anaeróbia se desenvolve no limo junto às paredes do tubo, enquanto que as camadas mais externas permanecem aeróbias. O H_2S , gerado nas camadas mais internas é oxidado total ou parcialmente quando de sua migração através das camadas aeróbias. Posteriormente, caso haja fração remanescente de H_2S , ela pode ser ou não oxidada no líquido, dependendo do conteúdo de oxigênio do líquido. (Ver ilustração 1).

A concentração de oxigênio que é crítica para impedir o acesso de H_2S à corrente líquida situa-se geralmente na faixa de 0,1 a 1 mg/l. Neste caso, o desprendimento de H_2S é função dentre outros fatores da temperatura e turbulência da corrente.

Caso o teor de oxigênio seja inferior a 0,1 mg/l, o H_2S gerado nas camadas de limo se transfere para a corrente líquida, de onde escapa para a parte superior da tubulação (ver ilustração 2).

2.2. CONVERSÃO DO SULFETO DE HIDROGÊNIO EM ÁCIDO SULFÚRICO

Havendo escapamento de H_2S para fora da corrente líquida parte dele é perdido através da ventilação natural da tubulação, entretanto a maior parte é absorvida pela camada de umidade condensada existente na parte superior da tubulação. Em condições ambientais favoráveis, complexos processos biológicos transformam o sulfeto de hidrogênio em ácido sulfúrico como segue:



O mecanismo de produção de H_2SO_4 pode ser sucintamente descrito como a seguir:

O pH da parede do tubo, inicialmente na faixa de 11 a 12 (típica de materiais contendo cimento) sofre um abaixamento devido puramente a reações químicas de carbonatação e ácido carbônico formado no con-

PROCESSOS QUE OCORREM EM INTERCEPTORES CONTENDO OXIGENIO SUFICIENTE PARA IMPEDIR QUE SULFETO ENTRE NA CORRENTE

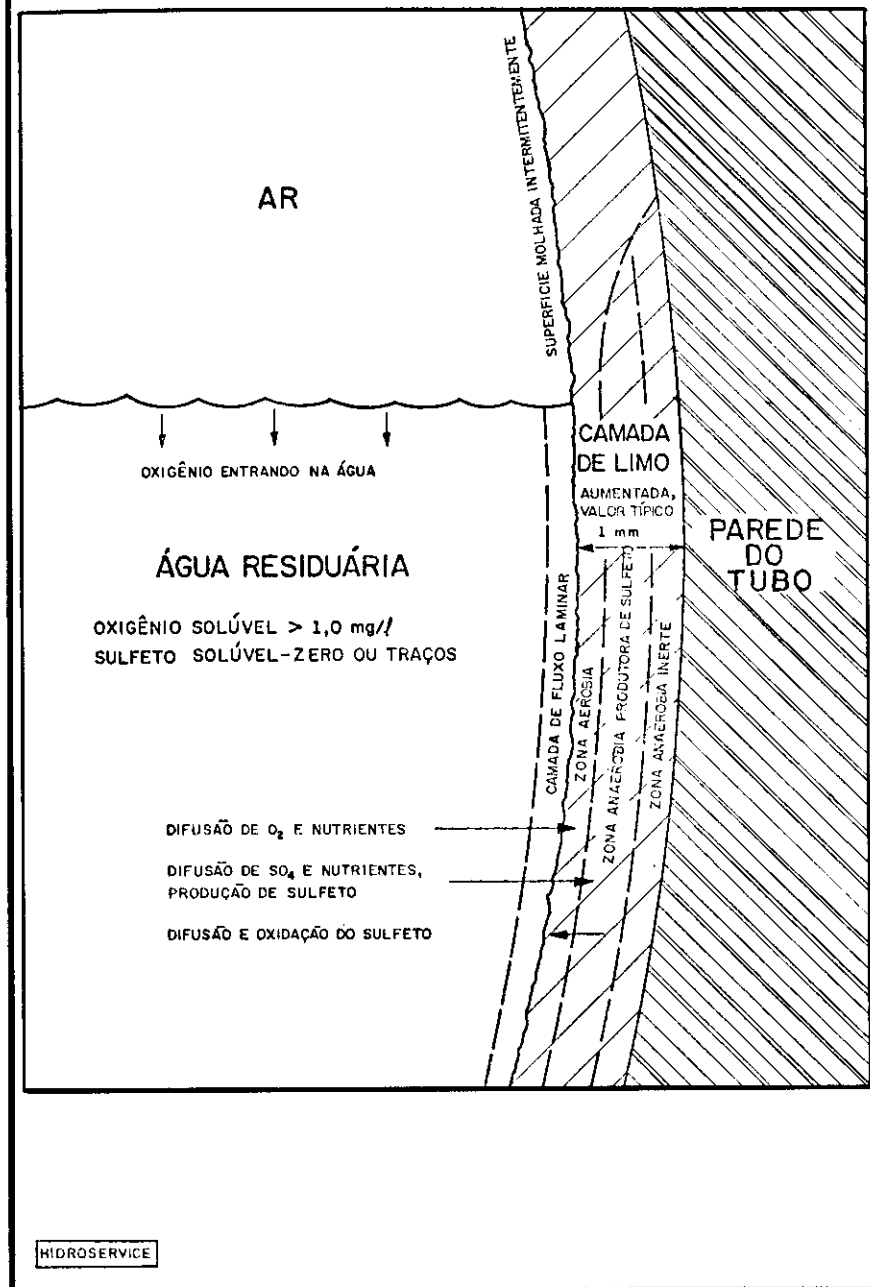


Ilustração 1.

densado, surgindo então as bactérias não tolerantes a ácido quando o pH cai dentro de sua faixa de crescimento.

Estes organismos produzem enxofre elementar, H_2SO_4 e produtos intermediários os quais reduzem, ainda mais, o pH. Quando o pH se aproxima de 6,5, as bactérias tolerantes a ácidos se estabelecem. Elas oxidam o H_2S , o enxofre elementar e produtos intermediários da oxidação do enxofre a ácido sulfúrico. A taxa de produção de ácido é então grandemente acelerada com conseqüente redução do pH a um valor igual ou até inferior a 4. Pode ser produzido ácido sulfúrico em concentrações iguais ou superiores a 5%.

A Ilustração 3 mostra a seqüência da geração de H_2S e H_2SO_4 nas

águas residuárias escoando pelas canalizações.

2.3. CORROSÃO DA TUBULAÇÃO DE CONCRETO PELA AÇÃO DO H_2SO_4

O ácido sulfúrico ataca o cimento produzindo uma massa pastosa e resíduos inertes sendo lenta a taxa de produção de ácido, praticamente todo ele reage com a parede do tubo.

Entretanto, sendo rápida, nem todo o ácido é capaz de se difundir através dessa massa pastosa, havendo então seu retorno parcial à corrente líquida onde a alcalinidade do esgoto o reconverte em íon sulfeto.

Não existe corrosão nas superfícies que estão submersas no líquido.

Para haver produção de ácido sulfúrico é necessária a existência de umidade condensada nas paredes do tubo.

Há geralmente um fluxo de ar através do interceptor e adicionalmente são estabelecidas correntes transversais devido a diferenças de temperaturas, pois a parede do tubo é normalmente mais fria que o líquido, especialmente no verão quando as concentrações de sulfeto são máximas. O ar resfriado pelas paredes move-se no sentido descendente e ar ligeiramente mais quente emerge a partir do centro da superfície do líquido. Como conseqüência, a taxa máxima de transferência de H_2S ocorre na direção da geratriz superior do tubo.

A distribuição desigual da corrosão também é resultado da migração de condensado contendo ácido pelas paredes da tubulação, particularmente quando a taxa de produção de ácido é elevada.

A corrosão é também mais acentuada nos trechos do interceptor sujeitos a flutuações de nível do líquido, pois estas regiões são intermitentemente lavadas, sendo carreados os materiais resultantes da decomposição. Em função disto, estas regiões ficam expostas a novos ataques de ácido cada vez que o nível do líquido baixa (ver Ilustração 4).

3. PROGRAMA PARA PREVISÃO DE FORMAÇÃO DE SULFETOS E CORROSÃO NOS INTERCEPTORES

3.1. INTRODUÇÃO

Até 1974, ano de publicação do manual sobre controle de sulfetos em emissários de esgoto do EPA não havia método racional através do qual as taxas de corrosão de tubulações de concreto pudessem ser previstas. A taxa de corrosão é função da quantidade de ácido sulfúrico produzida em uma tubulação que opera sob condições de geração de sulfetos. Com o advento deste manual e das fórmulas aí apresentadas tornou-se possível o desenvolvimento de um método racional para dimensionamento de material extra (geralmente referido como "camada de sacrifício") para proteção das tubulações de concreto.

Encontrou-se uma boa convergência entre os valores preconizados pelas fórmulas de geração de sulfetos e corrosão e os valores observados em um grande número de interceptores.

Determinadas condições podem levar à necessidade de se introduzir fatores de ajuste nas fórmulas. Por exemplo, observou-se na prática que quando o sistema de interceptores

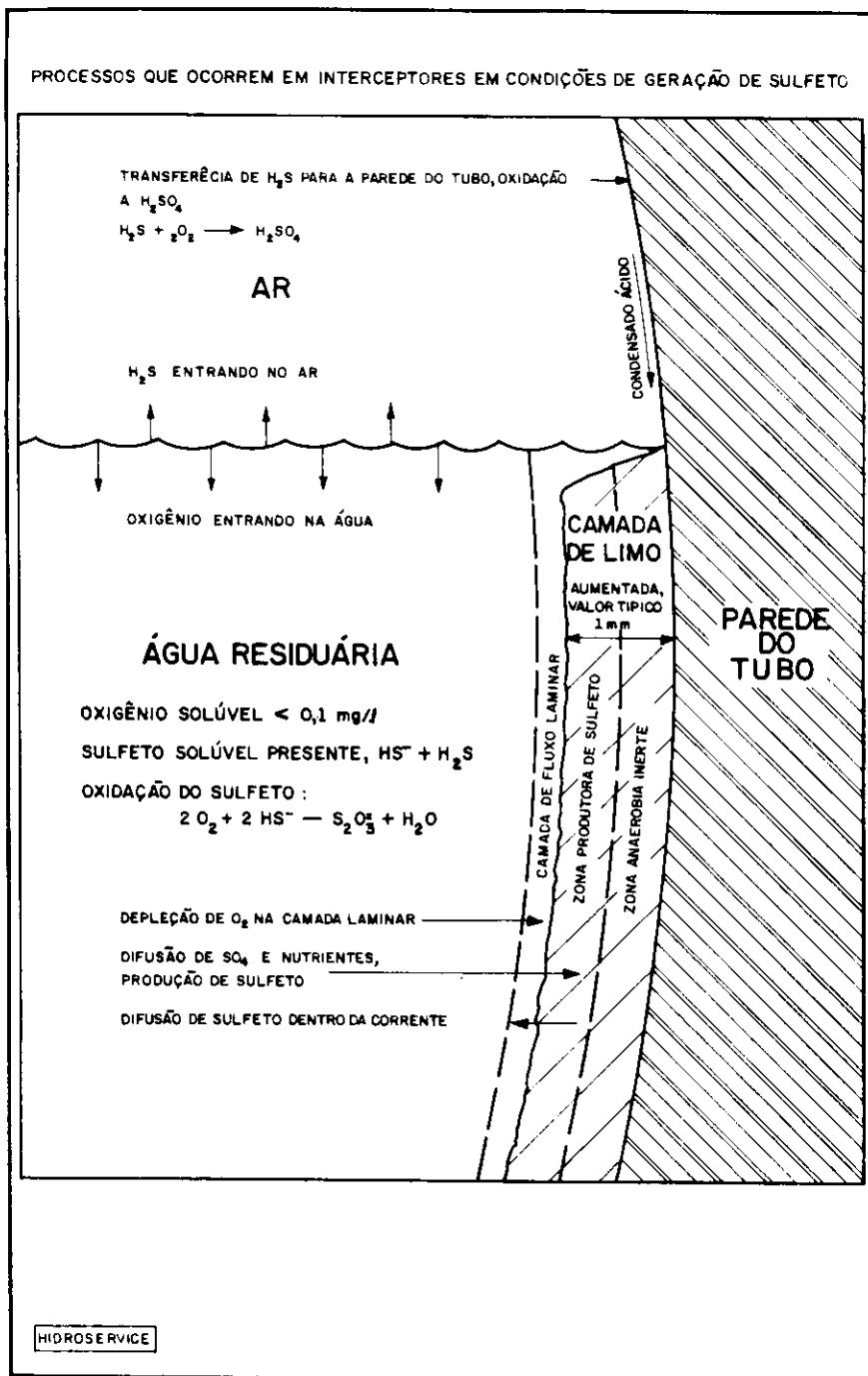


Ilustração 2

possui muitas junções causadoras de turbulências, quedas ou ressaltos hidráulicos, onde há dissipação de energia, a aeração do esgoto será favorecida havendo uma queda significativa nos teores de sulfetos previstos pelas equações.

Por outro lado, em se tratando de um esgoto anaeróbico a liberação do sulfeto de hidrogênio devido a turbulência agravará a corrosão ao longo da tubulação, nas proximidades destas irregularidades.

Caso o sistema de interceptores apresente poucas junções e poucos pontos de dissipação de energia, a taxa de geração de sulfetos pode ser um pouco maior do que as previsões

resultantes das aplicações das equações.

A equação para previsão de formação de sulfetos é a seguinte:

$$\frac{d(s)}{dt} = M' (\text{DBOE}) r^{-1} - N (iV)^{3/8} S dm^{-1}$$

Onde:

$\frac{dS}{dt}$ = taxa de variação da concentração de sulfetos mg/lh

r = raio hidráulico, m

i = declividade da linha piezométrica

V = velocidade, m/s

DBOE = "DBO efetiva", $\text{DBO} \times 1,07^{(T-20)C^\circ}$

DBO = demanda bioquímica de oxigênio (5 dias, 20°C)

T = temperatura, $^\circ\text{C}$

dm = profundidade hidráulica média, m

S = concentração de sulfetos, mg/l

M' e N são coeficientes empíricos, para os quais foram adotados os seguintes valores:

$M' = 0,32$

$N = 0,64$ (conduz a resultados conservadores)

$N = 0,96$ (tem levado a resultados mais próximos de valores reais)

Para qualquer conjunto de condições estabelecidas: diâmetro do tubo, declividade, vazão, temperatura e DBO do esgoto, existe, de acordo com as equações, uma concentração de sulfetos de equilíbrio a qual permanece inalterada enquanto o líquido escoa.

Esta concentração é representada pelo símbolo S_∞ . Se a concentração real de sulfetos excede S_∞ , as perdas por oxidação e escape de H_2S para o ar superam a taxa de formação do gás, havendo conseqüentemente um decréscimo na concentração remanescente no líquido. Por outro lado, se S é menor que S_∞ , ocorre um aumento da concentração de H_2S .

Esta concentração limite pode ser calculada pela equação:

$$S_\infty = \frac{M' (\text{DBOE})}{N (iV)^{3/8}} \frac{d, m}{r}$$

Com os coeficientes selecionados ($M' = 0,32$ e $N = 0,96$), e sabendo-se que $\frac{dm}{r} = \frac{P}{b}$ onde P é o perímetro molhado e b é a largura do canal, a condição limitante é fornecida pela equação:

$$S_\infty = 0,32 \frac{\text{DBOE}}{N(SV)^{3/8}} \times \frac{P}{b}$$

Para o cálculo das concentrações de sulfeto gerado através do intercepto-

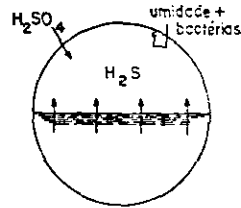
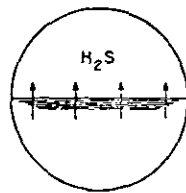
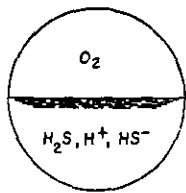
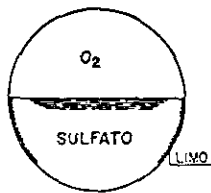
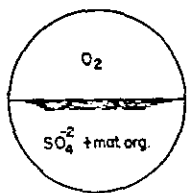
(1) SULFATOS DISPONÍVEIS

(2) FORMAÇÃO DE SULFETOS

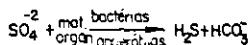
(3) H₂S NO ESGOTO

(4) ESCAPE DE H₂S

(5) PRODUÇÃO DE H₂SO₄



É IMPRESCINDÍVEL A PRESENÇA DE SULFATOS E MATÉRIA ORGÂNICA PARA A FORMAÇÃO DE H₂S



NO ESGOTO DEFICIENTE DE O₂ BACTÉRIAS ANAERÓBIAS NO LIMBO DAS PAREDES DO TUBO REDUZEM COMPOSTOS ORGÂNICOS DE ENXOFRE E SULFATOS A H₂S

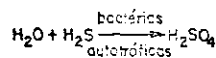


O SULFETO DE HIDROGÊNIO QUE ESCAPA DO LIMBO É IONIZADO PARCIALMENTE NO LÍQUIDO

P.H.	teor de sulfeto sob a forma de H ₂ S (%)
6	91
7	50
8	9

HAVENDO SUFICIENTE O₂ NO ESGOTO, O H₂S SERÁ OXIDADO NA SUPERFÍCIE DO LIMBO.

A MAIOR PARTE DO H₂S QUE ESCAPA DO LÍQUIDO SERÁ ABSORVIDA PELA CAMADA DE CONDENSADO EXISTENTE NA PAREDE DO TUBO. PARTE DO H₂S SERÁ REMOVIDA POR VENTILAÇÃO NATURAL.



BACTÉRIAS AUTOTRÓFICAS DO GÊNERO THIOBACILLUS QUE EXTRAEM SEU ALIMENTO A PARTIR DE COMPOSTOS INORGÂNICOS, OXIDAM H₂S A ENXOFRE E APÓS A H₂SO₄

HIDROSERVICE

Geração de H₂S e H₂SO₄ em esgotos

Ilustração 3

DISTRIBUIÇÃO DESIGUAL DA CORROSÃO EM TUBULAÇÃO DE CONCRETO

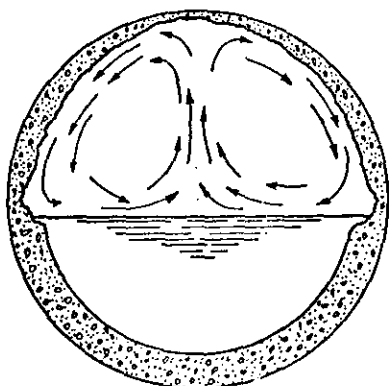


Ilustração 4

tor a equação deve ser integrada, tomando a seguinte forma:

$$\ln \frac{S_{\infty} - S_2}{S_{\infty} - S_1} = 0,96 (t_2 - t_1) \text{dm}^{-1} (\text{iv})^{3/8}$$

Onde 1 e 2 representam as condições a montante e a jusante de um determinado trecho do interceptor (t em hora).

Para a previsão das taxas de corrosão das tubulações de concreto foi desenvolvida a seguinte equação:

$$C = 11,5 \cdot \beta_{sw} \cdot 1/A \cdot k \cdot y$$

como

$$\beta_{sw} = 0,45 \cdot (\text{iv})^{3/8} \cdot j \cdot (\text{DS}) \cdot (b/p')$$

resulta

$$C = 5,1 (\text{DS}) \cdot b/p' \cdot j \cdot 1/A \cdot (\text{iv})^{3/8} \cdot k \cdot y$$

onde:

C = taxa de corrosão na geratriz superior do tubo, mm/ano

β_{sw} = fluxo de H₂S para as paredes do tubo

(DS) = concentração média anual de sulfeto solúvel, mg/l

b = largura da superfície, m

p' = perímetro exposto (não molhado), m

j = proporção de sulfeto solúvel presente como H₂S, calculada a partir da relação:

$$\log \frac{(\text{HS}^-)}{(\text{H}_2\text{S})} = \text{pH} - 7,0$$

A = alcalinidade do concreto, como % de CaCO₃

i = declividade da tubulação

V = velocidade do líquido, m/s

k = proporção de ácido que reage

y = razão entre o ataque mais

rápido (na geratriz superior do tubo) e o ataque médio na superfície da tubulação.

Para a utilização do programa de previsão de sulfetos foi introduzido o conceito de "condição climática", que é definida como a temperatura do esgoto para os 3 meses mais quentes do ano, acompanhada de outras características do esgoto para as 6 horas mais adversas do dia que geralmente são vazão alta e DBO alta.

As concentrações de sulfeto são previstas para esta condição climática, sendo aplicado um fator empírico para convertê-las em concentrações médias anuais de sulfeto.

Ao serem desenvolvidas previsões sobre a formação de sulfetos em um determinado sistema de esgotos, não é prático iniciar-se o programa na cabeceira de todas as tubulações.

Ocorre que as equações para previsão desenvolvidas não são aplicáveis a tubulações de pequeno diâmetro e, além disso, o esgoto por elas coletado sendo novo e as condições de aeração geralmente boas, a formação de sulfeto, mesmo existindo, é desprezível.

3.2. PREVISÃO DA FORMAÇÃO DE SULFETOS NOS INTERCEPTORES DO SISTEMA BARUERI

Considerando-se a topografia que

prevalece na área de São Paulo, bem como o clima da região, pode-se esperar que o esgoto transportado pelo interceptor apresente concentrações de sulfeto total na faixa de 0 a 1,0 mg/l.

A concentração inicial de sulfetos será denominada S_0 .

O programa de geração de sulfetos foi empregado admitindo-se duas alternativas para a concentração inicial de sulfetos:

- alternativa a – $S_0 = 0$

- alternativa b – $S_0 = 1,0$ mg/l

Foram coletadas amostras em diversos locais da região abrangida pelo sistema de modo a verificar a confiabilidade dos valores assumidos para concentração inicial no programa. (Ver Tabela I).

A concentração média de sulfetos solúveis encontrada foi 0,8 mg/l, a qual sugere que a concentração de sulfeto total seria aproximadamente 1,0 mg/l. (Embora somente a fração de sulfeto solúvel seja importante com relação aos problemas de geração de sulfetos, as previsões são feitas tomando-se por base a concentração de sulfetos totais).

Na previsão de geração de sulfetos no sistema de interceptores de Barueri foram utilizadas as vazões estimadas para o ano 2000, pois cálculos preliminares indicaram que estas condições serão mais adversas do que as condições iniciais do plano.

Os seguintes valores foram assumidos para a utilização do programa:

- Temperatura climática do esgoto: 25,5 °C

- DBOE climática: 333 mg/l

- pH: 6,8

- Vazão climática / vazão média: 1,2

- Concentração de sulfeto média anual/Concentração de sulfeto no período climático: 0,6

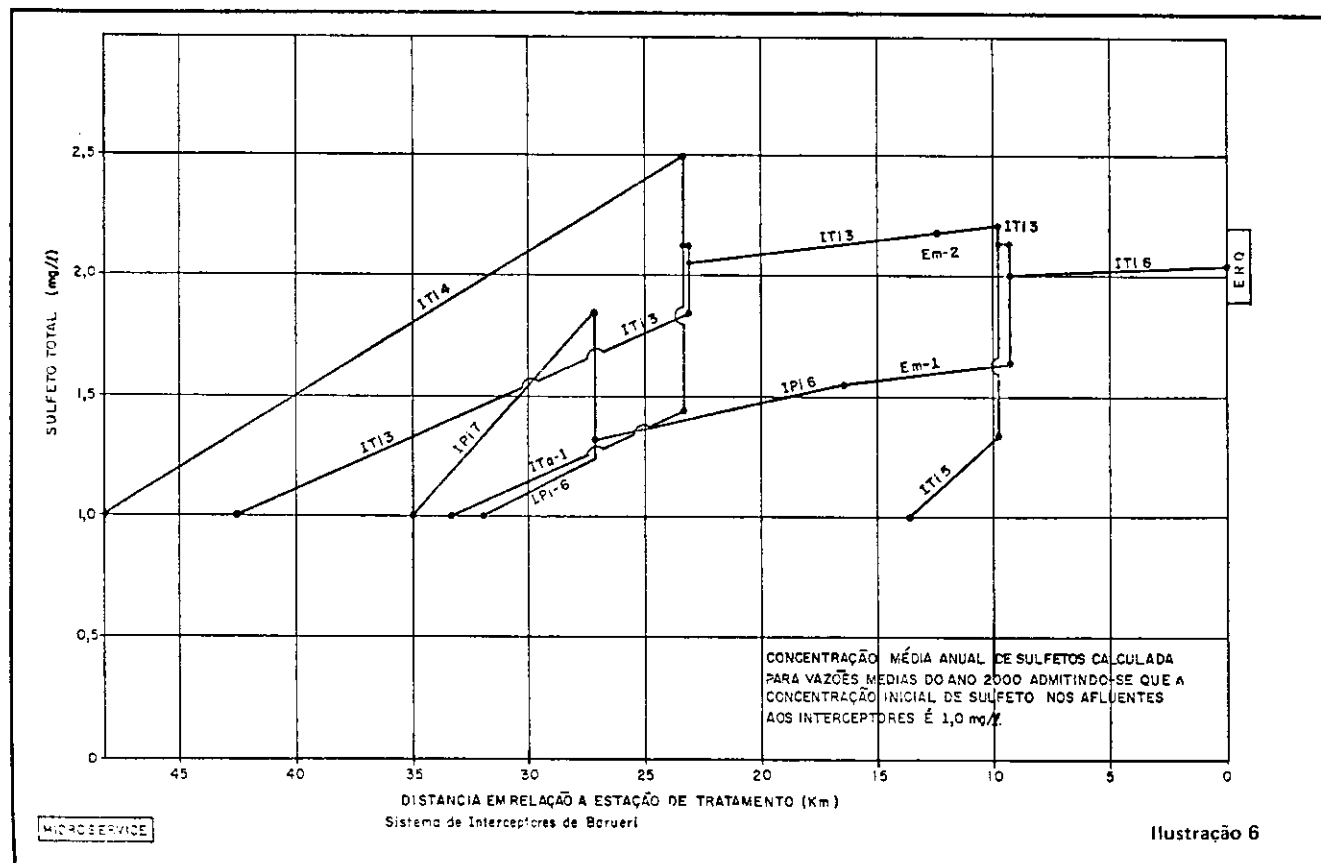
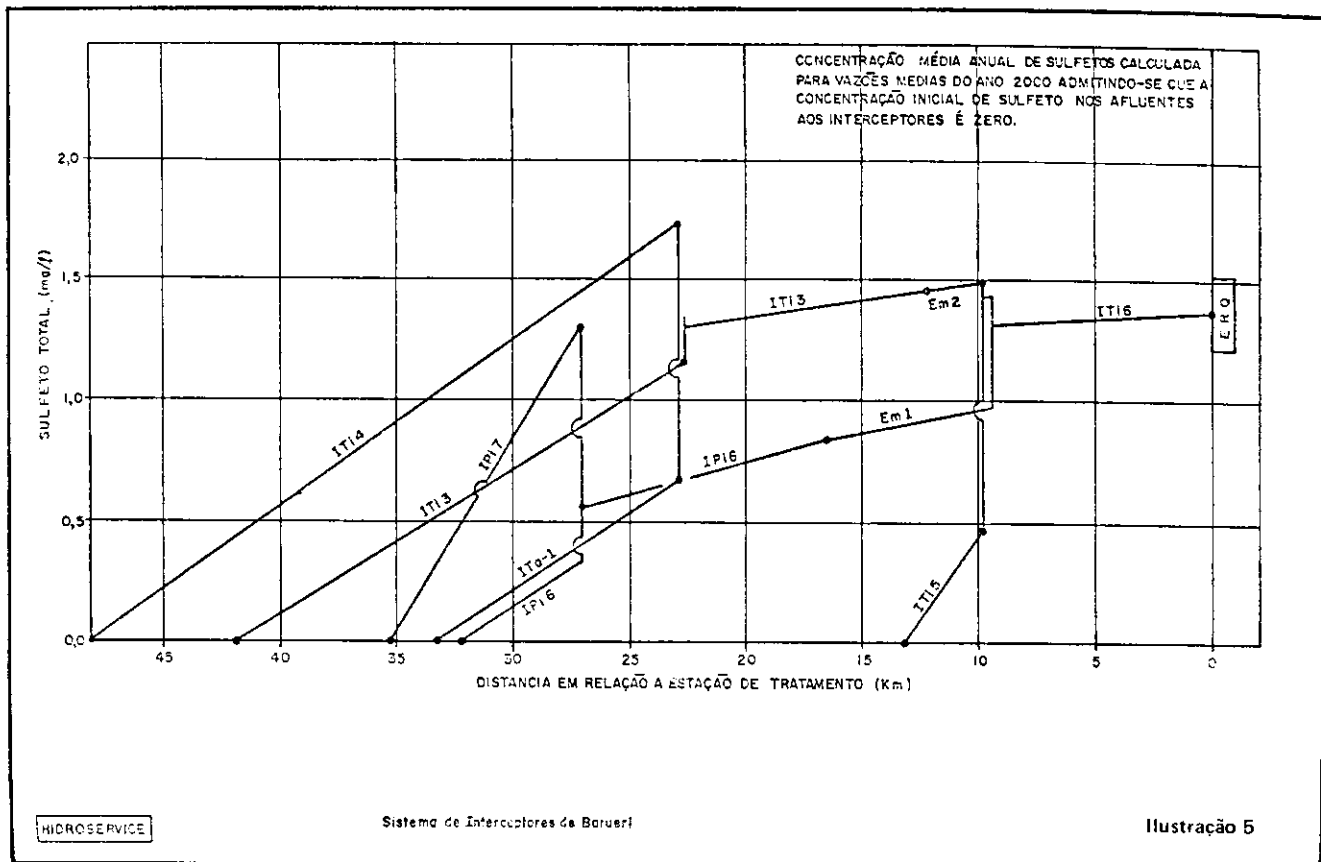
- Sulfeto insolúvel: 0,2 mg/l.

Cada interceptor é constituído por uma série de trechos de diferentes diâmetros e declividades. Foram efetuadas previsões para cada um dos trechos. A concentração de sulfeto calculada, S_2 , no final de um certo trecho é a concentração inicial S_1 do trecho seguinte, exceto no início do interceptor, quando $S_1 = S_0$.

TABELA I

TEORES DE SULFETO ENCONTRADOS EM AMOSTRAS COLHIDAS EM REDES EXISTENTES EM SÃO PAULO - DEZ 1979

PONTO DE COLETA DE AMOSTRA	HORÁRIO	TEOR DE SULFETOS SOLÚVEIS (mg/l)	TEMPERATURA (°C)	pH
Coletor da Rua Manuel Rodrigues - Osasco	9:15	0.8	26	6.3
	9:45	0.7	27	8.9
	10:15	0.8	27	6.1
	10:45	0.7	27	6.7
Estação Elevatória de Vila Carioca, junto a Av.Presid. Wilson e Rio Tamanduateí	14:00	0.6	26	6.1
	14:30	1.0	26	6.1
	15:00	0.8	26	6.2
	15:30	1.0	26	6.0
Av. Tereza Cristina, margem direita do Córrego do Ipiranga	10:30	1.0	29	6.4
	11:00	0.8	29	6.5
	11:30	0.9	29	6.4
	12:00	0.6	29	6.6
Estação Elevatória de Ponte Pequena	13:15	1.2	26	6.3
	13:45	1.1	26	6.1
	14:15	0.8	26	6.1
	14:45	1.1	26	6.3
Estação Elevatória do Piqueri (afluente)	11:15	0.9	22	6.7
	11:45	0.7	24	6.6
	12:15	0.8	24	6.6
	12:45	0.8	24	6.6
Foz do Córrego Mandaqui	9:25	0.8	24	6.7
	9:55	0.8	24	6.8
	10:25	0.9	24	6.8
	10:55	1.0	25	6.7
PONTO DE COLETA DE AMOSTRA	HORÁRIO	TEOR DE SULFETOS SOLÚVEIS (mg/l)	TEMPERATURA (°C)	pH
Estação Elevatória de Vila Maria	10:20	1.0	27	7.4
	10:50	1.0	26	7.1
	11:20	1.2	27	8.0
	11:50	1.2	27	7.8
Estação Elevatória junto a Rua da Coroa	14:00	1.2	26	6.6
	15:15	1.2	25	6.9
	16:00	1.0	26	6.8
	17:25	0.8	25	6.8
Afluente a ETE Leopoldina	8:40	0.8		
	9:40	0.1		
	10:40	1.9		
	11:40	0.1		
	12:40	0.7		
	13:40	0.9		
	14:40	1.0		
	15:40	0.6		
16:40	0.6			
17:40	0.1			
Afluente a ETE Pinheiros	12:40	1.1	26	6.9
	13:10	1.1	26	6.5
	13:40	0.9	26	6.4
	14:10	1.1	26	6.4



a taxa de penetração média do ácido deve ser corrigida nas proximidades da geratriz superior da tubulação onde o ataque é bem mais severo.

Na tabela III são apresentados os valores das taxas de corrosão estimadas para os trechos mais severamente atacados de cada um dos interceptores.

4. INFLUÊNCIA DA ALCALINIDADE SOBRE A CORROSÃO

A alcalinidade A ou a capacidade

TABELA III

TAXA DE CORROSÃO NA GERATRIZ SUPERIOR DO TRECHO MAIS SEVERAMENTE ATACADO DE CADA INTERCEPTOR

Interceptor	Sulfeto, mg/l		Corrosão, mm/ano	
	Alternativa 1 So = Zero	Alternativa 2 So = 1,0	Alternativa 1 So = Zero	Alternativa 2 So = 1,0
ITi-6	1.36	2.03	0.34	0.53
ITi-3	1.44	1.73	0.24	0.39
ITi-5	0.47	1.33	0.033	0.14
IPI-7	1.10	1.72	0.16	0.26
IPI-6	0.85	1.45	0.10	0.23
EM-1	0.96	1.64	0.12	0.23
ITi-4	1.59	2.39	0.41	0.65
ITa-1	0.55	1.34	0.12	0.44

de reação do ácido com o material da tubulação pode ser estimada a partir da composição da mistura usada na preparação do concreto.

O cimento anidro tem uma alcalinidade expressa em CaCO_3 aproximadamente igual a 1,18 vezes o seu peso. Assim sendo, se a proporção de cimento usada, expressa em % de peso do concreto curado, for multiplicada por 1,18, o resultado será a alcalinidade fornecida pelo cimento. Em tubos de concreto feitos com agregado granítico, a alcalinidade varia entre 16 e 24%. No caso de agregado calcário, a alcalinidade do concreto poderá atingir 100%.

Para fins comparativos foram calculadas quais seriam as taxas de corrosão usando-se agregado granítico (alcalinidade = 20%) e agregado calcário (alcalinidade = 90%).

5. TAXA DE CORROSÃO/DURABILIDADE DA TUBULAÇÃO DE CONCRETO

A durabilidade da tubulação de concreto está relacionada com a taxa de corrosão e com a espessura do material a ser corroído.

$$L = \frac{Z}{C}$$

onde:

L = vida útil da tubulação (anos)

Z = espessura do material a ser corroído durante o horizonte de projeto (mm)

C = taxa média de corrosão da tubulação devido ao ataque do ácido (mm/ano)

Do United States EPA, Sulfide Control Manual (1974) temos:

$$C = 11,5 K \phi_{sw} \frac{1}{A} \text{ mm/ano}$$

Substituindo-se esta equação em $L = \frac{Z}{C}$ obtém-se:

$$Az = 11,5 K \phi_{sw} L$$

$$e \quad Z = \frac{11,5 K \phi_{sw} L}{A} = \text{camada de sacrifício}$$

Assim, fixando-se a camada de sacrifício pode-se calcular a alcalinidade A que o concreto deve apresentar para ter a durabilidade esperada.

5.1. SIGNIFICADO DO FATOR AZ

O fator AZ pode ser especificado pelo projetista como um parâmetro a ser cumprido a fim de assegurar um certo período de vida útil da tubulação. Este fator fornece grande flexibilidade na execução das tubulações, pois permite a seleção da combinação mais econômica entre tipo de agregado e cobertura da armadura de aço (Z).

5.2. LIMITES PRÁTICOS DO FATOR AZ

Do ponto de vista prático, o valor

de A que pode ser obtido varia entre 0,20 e 2,25. O valor mínimo 0,20 corresponderia a um cobrimento de 25mm com uma alcalinidade da ordem de 0,20, típica de tubo de concreto. O valor máximo 2,25 corresponderia a um cobrimento aproximado de 60mm, com uma alcalinidade de 0,90, que pode ser obtida usando-se agregados calcários.

AZ = 2,25 pode ser requerido em áreas a jusante de pontos onde condutos forçados entram no interceptor, em áreas onde a turbulência não pode ser evitada e altos teores de sulfetos estão previstos e também, em certos efluentes industriais.

Usualmente para o projeto de interceptores estabelece-se um fator AZ = 1,0.

Baseado na Tabela IV, conclui-se que a substituição do agregado calcário pelo granítico acarreta uma taxa de corrosão 4,5 vezes maior, consequentemente reduzindo a vida útil do interceptor.

REFERÊNCIAS

- "The forecasting of sulfide buildup rates in sewers", Richard D. Pomeroy and John D. Parkhurst. Proceedings Eighth International Conference on Water Pollution Research, Sidney, Australia, Oct 17-22, 1976.
- United States EPA, Sulfide Control Manual (1974).
- Sulfide Prediction/Concrete Pipe Interceptor Sewer Design Program For the HP 67/97. Elaborated by Kenneth K. Kienow.

TABELA IV

TAXA DE CORROSÃO CALCULADA NA GERATRIZ SUPERIOR DO TRECHO DE MAIOR CORROSÃO DE CADA INTERCEPTOR

INTERCEPTOR	TAXA DE CORROSÃO mm/ano			
	AGREGADO CALCÁRIO		AGREGADO GRANÍTICO	
	S _O = 0	S _O = 1,0 mg/l	S _O = 0	S _O = 1,0 mg/l
ITi ₆	0,34	0,53	1,51	2,39
ITi ₃	0,24	0,39	1,06	1,73
ITi ₅	0,03	0,14	0,15	0,63
IPI ₇	0,16	0,26	0,69	1,17
IPI ₆	0,10	0,23	0,46	1,03
Em-1	0,12	0,23	0,55	1,04
ITi ₄	0,41	0,65	1,86	2,93
ITa ₁	0,12	0,44	0,57	1,87