

CORROSÃO DE CONDUTOS DE CONCRETO PARA ESGOTOS: CAUSAS E REMÉDIOS

Eng.º RUBEN DUFFLES ANDRADE*

1. DOIS TIPOS DE CONDUTO

Há dois tipos de condutos: condutos de descarga livre e condutos forçados, isto é, condutos sujeitos à pressão interna.

2. HÁ DE FATO CORROSÃO DO CONCRETO NOS CONDUTOS DE ESGOTOS?

2.1 — Em São Paulo — Um engenheiro da extinta SAEC — Superintendência de Água e Esgoto da Capital, informou-nos que o antigo DAE de São Paulo fez escavação na Av. Brigadeiro Luís Antônio para verificar o estado de uma tubulação de esgoto e verificou que ela simplesmente não mais existia.

2.2 — Em Santos — A antiga Repartição de Saneamento de Santos pôs em funcionamento, em 1948, uma tubulação de concreto armado de \varnothing 1,00, de 4.600 m de comprimento, para recalcar os esgotos de Santos até as imediações do Forte Itaipus. Essa tubulação, no trecho de recalque, está trabalhando, há 25 anos, de forma satisfatória.

2.3 — Em São Caetano do Sul — A Fábrica Rayon, das Indústrias Reunidas Francisco Matarazzo S.A., de São Caetano do Sul, captou em 1944 a água poluída do rio Tamandateí e recalcou-a para a sua fábrica. Usou tubos de concreto armado de 0,70 e 0,80 m de diâmetro interno. Após 19 anos de trabalho ininterrupto houve necessidade de remanejamento da linha. Pessoalmente, verificamos que a superfície interna, preta como piche, apresentava-se perfeita e que os arames da armadura tinham aparência de arames galvanizados, isto é, sem apresentar nenhum ataque. Essa tubulação acha-se em funcionamento atualmente, ou seja, há 31 anos, e em boas condições.

2.4 — Em Santo Amaro — São Paulo — A Usina Termoelétrica de Piratininga, no bair-

ro de Pedreira, em Santo Amaro, São Paulo, de São Paulo Light S.A. — Serviços de Eletricidade, instalou, em 1954, tubulações de 72 e 96 polegadas de diâmetro interno de concreto armado para, com as águas bastante poluídas do Rio Pinheiros, refrigerar as grandes caldeiras da usina. Em 1957, como pessoalmente verificamos, a superfície interna das tubulações já apresentava sinais de corrosão, com apenas 3 anos de uso.

2.5 — Na Guanabara — O Eng.º Ademar Della Nina, da Sursan, da Guanabara, deu-nos fotografias de uma galeria no Rio cuja laje superior foi gravemente corroída em alguns anos.

2.6 — Em Havai — Em Honolulu, no Havai(1), em 1949, foi posto em serviço um túnel de interceptor de esgoto. Após 17 anos de serviço, a corrosão do concreto nas paredes laterais e na laje superior foi acentuada, verificando-se que o concreto corroído podia ser removido com colher de pedreiro e com pá.

2.7 — A resposta à pergunta: "há de fato corrosão do concreto nos condutos de esgoto"? — É dupla: há e não há, dependendo do caso a considerar.

3. OBJETIVO RESTRITO DESTA ESTUDO

O presente estudo vai ficar restrito apenas ao caso de condutos de descarga livre. Os condutos forçados não serão considerados por duas razões: primeira, para não tornar muito extensa a presente exposição e segunda, é que não nos achamos ainda suficientemente esclarecidos sobre o assunto. A literatura que temos manuseado não tem sido conclusiva até agora.

4. CAUSA IMEDIATA DA CORROSÃO DO CONCRETO

Forma-se na parede interna do conduto, acima da lâmina de água, ácido sulfúrico que ataca o cimento formando sulfato de cálcio, de ferro e de alumínio. Esses sais formam crosta mole e facilmente destacável da parte ainda não atacada pelo ácido.

* Ex-Eng.º Consultor do antigo Centro Tecnológico de Saneamento Básico — CETESB.

Após a corrosão do concreto é corroída a armadura, eventualmente existente, como aconteceu na galeria da Guanabara mostrada nas fotografias referidas em 2.5.

5. MECANISMO DA FORMAÇÃO DE ÁCIDO SULFÚRICO NAS PAREDES DOS CONDUTOS DE ESGOTO

Pomeroy e Bowlus formularam, em 1946, a lei fundamental seguinte (2, pág. 599):

Em condutos de esgoto de descarga livre, os sulfetos são produzidos, somente, pela película de esgoto da superfície submersa e pelo lodo depositado no fundo do conduto. No esgoto que escoar, sulfetos não são gerados, pelo contrário são destruídos pelo oxigênio que está continuamente sendo absorvido da superfície.

Esta lei fundamental e outras leis importantes, que apresentaremos, são frutos da extraordinária pesquisa feita pelos Distritos Sanitários de Los Angeles, a partir de 1939. A magnitude da pesquisa pode ser julgada pelo fato de, em 7 anos, terem sido feitas mais de 60.000 determinações de sulfeto de hidrogênio. Infelizmente, nessa pesquisa, não se estudou o aspecto biológico do problema da geração do sulfeto, a despeito de Pomeroy e Bowlus terem reconhecido ser a geração de sulfeto de hidrogênio um fenômeno biológico.

Coube, porém, ao australiano Parker, em 1951, em notável trabalho (3), estudar minuciosamente o mecanismo da formação do ácido sulfúrico nas paredes dos condutos de esgoto de descarga livre.

Resumidamente o mecanismo é o seguinte. Na película de esgoto da superfície submersa e no lodo depositado no fundo do conduto de esgoto, bactérias anaeróbias, tais como E. Coli, Proteus vulgaris, Pseudomonas pycocyanea e Sporovibrio desulphuricans, agindo sobre compostos contendo enxofre e sulfatos, presentes no esgoto, produzem sulfeto de hidrogênio, H_2S , que fica dissolvido no esgoto. Este H_2S desprende-se do esgoto por diversos meios, entre eles pelo turbilhonamento, e fica na atmosfera do conduto, em contato com a face não submersa da parede do conduto. Esse H_2S é transformado, na parede do conduto, em ácido sulfúrico H_2SO_4 por intermédio da ação bacteriológica do Thiobacillus X e Thiobacillus concretivorus. São bactérias autróficas, isto é, elas são capazes de crescimento e atividade bioquímica na ausência completa de compos-

tos orgânicos. Elas apenas exigem alguma fonte de enxofre tais como H_2S , enxofre livre, e tiosulfato, também, gás carbônico para o desenvolvimento de protoplasma, oxigênio, pequenas quantidades de sais minerais e água. Com esses elementos, todos presentes na face não submersa do esgoto, aquelas bactérias, ao se desenvolverem, produzem ácido sulfúrico.

Esse mecanismo da formação do ácido sulfúrico é descrito com minúcias por Parker.

6. LEIS DE FORMAÇÃO DE SULFETO DE HIDROGÊNIO H_2S

6.1 — Lei fundamental — A lei fundamental ou a 1.ª lei já foi apresentada no item 5.

6.2 — Temperatura do esgoto — 2.ª lei — Desde que geração de sulfeto é fenômeno biológico, ela deverá ser nitidamente influenciada pela temperatura. Como consequência da pesquisa de Los Angeles, Pomeroy e Bowlus (2, pág. 603) formularam a 2.ª lei relativa à geração de sulfeto, seguinte:

De fato, em conduto de esgoto de descarga livre para condições especificadas quaisquer de vazão e concentração de esgoto, existe uma temperatura mínima abaixo da qual a formação de sulfeto não ocorrerá.

Na região de Los Angeles essa temperatura mínima é de $15^{\circ}C$ (2, pág. 603).

Charles H. Lawrence, em notável trabalho de pesquisa (4, pág. 1.088), diz-nos em 1965:

Parece que os problemas com os sulfetos ocorrem, geralmente, somente na parte sul da área de estudo, aproximadamente abaixo do paralelo de latitude 39 ou da localização de Sacramento, Califórnia. Dentro dessa parte sul, diversos lugares têm experimentado geração de sulfeto em condutos de esgoto, alguns deles resultando em corrosão.

James E. Hawthorn, em interessante trabalho (5), contesta a afirmativa de Charles H. Lawrence de que nas zonas acima do paralelo 39 não existem problemas com os sulfetos. Ao apresentar diversos casos de graves corrosões do concreto, pelo H_2S , no Estado de Washington, na zona fria e noroeste dos Estados Unidos, diz-nos que (5, pág. 430): É óbvio, pela evidência relatada neste artigo, que o Noroeste não está imune ao perigo da danificação, pelo sulfeto de hidrogênio, dos condutos e estruturas do sistema de esgoto.

Os casos relatados por James E. Hawthorn referiam-se às danificações (pág. 427) de tubos e estruturas de concreto nos pontos de descarga de esgoto de longos condutos forçados. Foi

pena não ter ele dado caráter mais científico ao artigo, indicando, por exemplo, os valores da temperatura do esgoto.

6.3 — Concentração do esgoto — 3.ª lei —

Atualmente, mede-se indiretamente a concentração de nutrientes bacteriológicos no esgoto pela demanda bioquímica de oxigênio: D.B.O. A decomposição da matéria orgânica do esgoto é realizada por bactérias aeróbias que exigem oxigênio. A avidéz ou demanda de oxigênio por esses organismos pode medir grosseiramente a concentração do esgoto.

Pomeroy e Bowlus estudaram a correlação existente entre a geração de sulfetos e a demanda bioquímica de oxigênio e chegaram à 3.ª lei, seguinte (2, pág. 604):

Para quaisquer temperatura e condição de vazão especificadas, existe uma concentração limite de esgoto abaixo da qual a formação de sulfeto não ocorrerá.

Para condutos de descarga livre, Pomeroy e Bowlus verificaram que a geração de sulfeto praticamente cessa quando a D.B.O. cai a um valor de cerca de 80 p.p.m. (partes por milhão = mg/l) (2, pág. 603).

Em São Paulo, em 1948, o valor da D.B.O. era de aproximadamente 310 p.p.m. e na Guanabara, na E.T.E. da Penha, em 1954, D.B.O. = 330 p.p.m. (6, págs. 6, 7 e 8).

6.4 — Velocidade do esgoto — 4.ª lei —

A geração de sulfeto é afetada quando a velocidade do esgoto é tal que limpe as superfícies laterais e o fundo do conduto de esgoto. Abaixo, porém, de 0,9 m/s a geração de sulfeto não é afetada pela velocidade, enquanto a velocidade de oxidação e evolução de H₂S são grandemente afetadas.

Streeter, Wright e Kehr (7) mostraram que a velocidade de absorção de oxigênio pela cor-

rente varia com a potência de 1,75 da velocidade. Por isso, a velocidade é fator principal em determinar se subtrações de sulfeto da corrente pela oxidação e evolução são capazes de contrabalançar adições de sulfeto pela película de esgoto e pelo lodo.

Assim, Pomeroy e Bowlus apresentaram a 4.ª lei seguinte (2, pág. 604):

Em condutos de esgotos de descarga livre, para qualquer particular combinação de temperatura e concentração de esgoto há velocidade limite de escoamento acima da qual formação de sulfeto não ocorrerá.

7. TABELA DE VELOCIDADE REQUERIDAS PARA EVITAR FORMAÇÃO DE SULFETO

Desde que a velocidade limite é determinada pela temperatura e concentração do esgoto, é desejável combinar estas condições num fator simples chamado D.B.O.₅ efetiva. A temperatura de 20°C é escolhida como padrão ou standard e a D.B.O.₅ é a demanda dos cinco primeiros dias.

Para qualquer outra temperatura, a D.B.O.₅ standard é multiplicada por fator calculado na hipótese de que a atividade biológica cresça, geometricamente, 7% por °C.

A fórmula é:

$$D.B.O._5 \text{ efetiva} = D.B.O._5 \text{ standard} \times (1,07)^{t-20}$$

Pomeroy e Bowlus apresentaram tabela mostrando a relação entre D.B.O.₅ efetiva e velocidade exigida para evitar formação de sulfeto, deduzida por tentativa dos dados disponíveis daquela grande pesquisa (2, pág. 605). Pomeroy e Bowlus recomendam (2, pág. 615) 25% de aumento naquela velocidade como fator de segurança, e acréscimo de 50% se estão presentes despejos industriais com alto teor de matéria orgânica dissolvida.

Aquela tabela passa então a ser a seguinte, em nossas unidades:

Tabela de velocidades requeridas para evitar a formação de sulfetos
m/s

1	2	3	4
D.B.O. ₅ efetiva (p.p.m.)	Velocidades mínimas seguras mais prováveis	Velocidades com 1,25 de fator de segurança	Velocidades com 1,50 de fator de segurança para o caso de despejos industriais com alto teor de matéria orgânica
55	0,31	0,39	0,46
125	0,46	0,57	0,69
225	0,61	0,76	0,91
350	0,76	0,95	1,14
500	0,92	1,15	1,38
690	1,07	1,34	1,61
900	1,22	1,52	1,81

Davy (8) determinou a fórmula correspondente às velocidades da coluna 2 da tabela acima, seguinte: $V = 0,137 (D.B.O_5 \text{ efetiva})^{0,496}$ onde V é expressa em pé/s. Em nossas unidades, a fórmula é: $V = 0,0418 (D.B.O_5 \text{ efetiva})^{0,496}$.

A fim de prever a possibilidade de ocorrer formação de sulfeto, em qualquer tempo, em linha de conduto de esgoto são admitidas temperaturas máximas de verão e valores diários máximos de D.B.O₅, e a máxima D.B.O₅ efetiva é calculada. A velocidade efetiva do escoamento, durante estas condições de pico é também determinada. Se esta velocidade efetiva estiver abaixo da velocidade requerida como indicada na tabela, pode-se esperar formação de sulfeto mas, se a velocidade efetiva exceder aquele valor exigido, então a formação de sulfeto é improvável.

8. NOVA FÓRMULA DO DR. POMEROY

Dr. Pomeroy, atuando como consultor de James M. Montgomery Consulting Engineers, Inc., Pasadena, Calif., elaborou nova fórmula para verificar se haveria formação de sulfeto de hidrogênio no sistema de interceptores de San Diego — Califórnia.

A fórmula, apresentada por William J. Carroll (9, pág. 44) é a seguinte:

$$D.B.O. \text{ marginal} \times 1,038^{(t-65)} = 7,500 \times Q^{\frac{1}{3}} \times S^{\frac{1}{2}} \times f \left(\frac{Q}{Q_i} \right) \text{ onde:}$$

t = temperatura em graus F

Q = vazão atual, em pé cúbico por segundo

Q_i = capacidade de vazão de tubo cheio, em pé cúbico por segundo

S = declividade

$f \left(\frac{Q}{Q_i} \right)$ = função de vazão relativa.

D.B.O. marginal é valor marginal ou limite superior para a D.B.O. do esgoto, que pode ser transportado por conduto particular de esgoto tal que nenhum sulfeto — ou apenas quantidade desprezível dele — é formado.

Garber (10) apresenta a mesma fórmula, porém de forma diferente, seguinte:

$$D.B.O_5 \text{ efetiva marginal} = \\ = D.B.O_5 \text{ standard a } 20^\circ C \times 1,038^{(t-68)} = \\ = 7,500 Q^{\frac{1}{3}} S^{\frac{1}{2}} \times f \left(\frac{Q}{Q_i} \right)$$

Não conseguimos saber quais das duas fórmulas é a certa ou se as duas estão erradas.

Além disso, as duas publicações referidas (9 e 10) não explicam como é calculada a função $f \left(\frac{Q}{Q_i} \right)$ de modo que, presentemente estamos impossibilitados de usar a nova fórmula do Dr. Pomeroy.

9. SETE OBSERVAÇÕES IMPORTANTES A RESPEITO DE FORMAÇÃO OU NÃO DE SULFETO DE HIDROGÊNIO EM CONDUTOS DE CONCRETO PARA ESGOTO

Essas observações formuladas por Garber (10, p. R210), para enfatizar a necessidade de medições de sulfetos, são as seguintes.

Das relações apresentadas anteriormente, parecia que poder-se-ia prever, de modo preciso, das condições de sulfetos, de certos dados básicos do projeto de conduto e da concentração do esgoto, e que haveria pequena necessidade de medições rigorosas de sulfeto. Infelizmente isto não é verdade. Os seguintes fatores estão entre aqueles que têm tornado necessárias tais medições de sulfeto:

1. As linhas de condução de esgoto, muitas vezes, não podem ser projetadas para evitar formação e desprendimento de sulfeto.
2. As condições de concentração de esgoto podem mudar, tornando inadequados os projetos anteriores.
3. Conservação imprópria pode permitir acumulação de areia e camadas de lodo, resultando velocidades mais baixas e geração de sulfeto maior do que a prevista.
4. Descarga intermitente de ácidos ou despejos de indústrias, de temperatura mais elevada, pode aumentar drasticamente a geração ou desprendimento de sulfeto.
5. A ligação de outras linhas pode introduzir águas de despejo contendo concentrações elevadas de sulfeto.
6. O desenvolvimento pode trazer residências em áreas onde o desprendimento de odor não tinha antes sido problema.
7. Crescentes temperaturas de esgoto, devido ao crescente uso de máquinas de lavar roupa e pratos, pode resultar em geração crescente de sulfeto.

10. COMO RESOLVER O PROBLEMA DE CORROSÃO

Há três processos seguintes:

- A. evitar a formação de H_2S dando ao esgoto velocidade de vazão que impeça essa formação de H_2S ;
- B. não sendo possível evitar a formação de H_2S , escolher material que resista ao ataque do ácido sulfúrico;
- C. existindo H_2S no conduto, eliminá-lo por ventilação, limpeza do conduto ou por algum tratamento químico.

O item A. já foi examinado nos itens anteriores.

O item C. não será examinado no presente trabalho.

O item B. será tratado a seguir.

11. MATERIAIS PARA CONDUTOS DE ESGOTOS QUE RESISTEM AO ATAQUE DO ÁCIDO SULFÚRICO

11.1 — Manilha de barro vitrificado —

Experiências em todo o mundo têm provado que o conduto de esgoto que resiste à corrosão é a manilha de barro vitrificado. O pequeno diâmetro disponível e a pequena capacidade de resistência às cargas externas e internas limitam o seu uso.

11.2 — Tubo Polyarm (Techite) — Este tubo, feito com resina poliéster armado com filamentos de fibra de vidro e areia, que parece ser extraordinário pois é leve, de grande resistência mecânica e resistente à corrosão, com junta elástica e flexível, não será tratado neste estudo.

11.3 — Condutos de concreto — Pomeroy, em notável artigo (11) estudou detalhadamente a proteção de condutos de concreto para esgotos. Vamos traduzir alguns trechos desse artigo.

"Concreto adicional: Bom material protetor para concreto é concreto. A velocidade de penetração do ácido no concreto comum é baixa sob condições moderadas de sulfeto. Em 1946, Pomeroy e Bowlus (2) fizeram a estimativa de que, sob condições médias de vazão (velocidade de 0,60 a 0,76 m/s), concentração média de sulfeto dissolvido de 0,1 p.p.m. levaria ao ataque do interior de conduto de concreto de esgoto na velocidade de cerca de 25 mm num século. Esta estimativa ainda parece válida. Isto significaria, geralmente, concentrações médias por dia e concentrações médias de verão consideravelmente mais altas com concentrações de sulfetos totais de verão atingindo picos de 2 a 3 p.p.m. Existem muitos condutos onde concentrações tão altas quanto

estas podem ser achadas. A velocidade de penetração é proporcional à concentração de sulfeto dissolvido, permanecendo os outros elementos iguais. Muitas cidades têm exigido 1" ou 1 1/2" de espessura adicional em tubos onde condições de sulfeto são prováveis.

Mesmo na presença de condições severas de sulfeto, com sulfetos totais de 10 a 15 p.p.m., ao tubo de concreto, pode ser dada vida longa se ele tem simultaneamente espessura adicional e agregados calcários. Raramente isto seria necessário para tubo de esgoto. Para caixas de confluência e outras estruturas onde há muita turbulência, com desprendimento anormal para o ar de sulfeto de hidrogênio, e para poços de visita nas extremidades de longos condutos forçados, esta combinação de medidas protetoras pode ser desejável."

SUMÁRIO

1. Acredita-se que nenhum tipo de revestimento, aplicado a quente ou com solvente, tenha utilidade para proteção do interior de condutos de concreto para esgoto contra o ácido formado, onde estão presentes altas concentrações de sulfetos. Resina polimerizada "in-loco" tem possibilidade de ser benéfica.
2. Revestimentos de ladrilhos cerâmicos têm permanecido intatos somente onde não há, praticamente, nenhum sulfeto no esgoto ou onde eles são diariamente submersos.
3. Placa de cloreto de polivinil, Amerplate, tem êxito. Sua vida não é conhecida. Conjetura-se, com base em informações limitadas disponíveis, que ela exceda 25 anos, mas, é menor que um século.
4. São fúteis as tentativas para aumentar a resistência do concreto ao ataque de ácido em condutos de esgoto, pela impregnação dos poros do concreto com algum material.
5. Quando imersas em ácidos, as amostras de concreto, preparadas por métodos que lhes dão alta resistência a sulfato, duram mais tempo do que aquelas que têm pequena resistência a sulfato. Resistência a sulfato é obtida pela confecção de concreto de baixa permeabilidade, pelo uso de cimento do tipo II em lugar do tipo I, ou por processos favoráveis de cura.
6. Interpretação dos resultados de ensaios de laboratório, em termos de vida provável em conduto de esgoto, deve ser feita com precaução, por causa da falha de semelhança. Sob condições de baixa produção de ácido, no interior do conduto de esgoto, a velocidade de reação do ácido é comumente a velocidade de produção do ácido.

7. A velocidade de ataque, permanecendo constantes os outros elementos, é inversamente proporcional à quantidade dos materiais neutralizadores do ácido no concreto.
8. Agregados de pedra calcárea ou dolomita retardam o ataque de amostras imersas em vasos de ácidos, de amostras penduradas em poços de visita com concentração muito alta de sulfeto e de tubo assentado em linha que transporte efluente de tanque séptico.

Acredita-se que o uso de um ou outro desses agregados alcalinos aumente, pelo menos cinco vezes, a vida do conduto de concreto para esgoto, em local onde prevalecem condições de sulfeto.

Pomeroy explicou, no mesmo notável artigo (11, pág. 400), o porquê do abandono dos revestimentos protetores da face interna dos condutos de concreto para esgoto. Vamos traduzir o respectivo trecho daquele artigo.

“Barreira superficial ácida-resistente:

Uma solução ao problema é proteger a superfície de concreto com barreira ácida-resistente. Isto é difícil, quando a proteção deve atingir alto grau de perfeição e deve ter vida muito longa.”

É necessária a perfeição do revestimento, pois mesmo um furo de alfinete (pinhole), em 93 m² (1.000 sq ft), pode ser sério. Se as condições de sulfeto são tão más, que uma proteção deste tipo seja necessária, a presença do revestimento, quase perfeito, leva à penetração mais profunda do que nenhum revestimento. O ácido formado sobre a parede não reativa de tubo fluirá lentamente para baixo, na superfície, e servirá como suprimento para ataque rápido onde exista uma falha. Num caso extremo, um revestimento imperfeito tem resultado em muitas cavidades que penetram, toda ou aproximadamente, toda parede de 5" do tubo, em 12 anos. Avalia-se que o ataque teria sido somente de 1" a 2" se nenhum revestimento existisse.

O revestimento deve ser capaz de resistir, por longo período de tempo, à exposição de concentrações de ácido bastante altas. As concentrações de ácido, geralmente, não são muito altas na superfície do concreto porque o ácido pode reagir com o concreto. Numa superfície não reativa, as concentrações são mais elevadas. Condensados removidos de uma superfície de cerâmica, numa caixa de confluência, mostraram 7% de ácido sulfúrico, sendo o pH = 0,2. Exames microscópicos mostram o líquido estar pululando com bactéria, presumivelmente do gênero *Thiobacillus*.

Não se tem determinado se os *Thiobacillus* podem oxidar sulfeto de hidrogênio a ácido sulfúrico, em concentrações ainda mais elevadas, mas, concentrações mais elevadas são encontradas, possivelmente, por causa da evaporação da umidade condensada quando o esgoto, devido à estação do ano, torna-se mais frio do que as paredes do conduto de esgoto.

Quando as condições tornam-se desfavoráveis à formação de ácido sulfúrico, por causa da alta acidez, segura ou outras razões, pode existir acumulação de enxofre como produto intermediário de oxidação. Num conduto de esgoto, foi raspado algum enxofre do topo do conduto de esgoto em fevereiro. Ele continha muito pouca umidade, mas, aquela que estava presente continha cerca de 25% de ácido sulfúrico, com pH de -0,3.

A quantidade de ácido sulfúrico presente era 81 gr/m² (1 lb por 60 sq ft). Os revestimentos serão raramente sujeitos ao efeito de ácido nesta concentração por qualquer período de tempo considerável, mas, o revestimento deve, contudo, ser capaz de resistir à alteração química nessas condições.

12. CONDUTOS PARA ESGOTO FEITOS DE CONCRETO COM AGREGADOS CALCÁREOS

12.1 — Pesquisa da África do Sul — Conforme Pomeroy (11), a tecnologia do concreto resistente a ácido foi estudada mais extensivamente na África do Sul, a partir de 1953, por Stutterheim e Van Aardt (12, 13 e 14) pelo "South African Council for Scientific and Industrial Research" (15). Vamos nos reportar ao que Pomeroy publicou, apresentando o que mais nos interessa.

Nas pesquisas relatadas por Van Aardt e Suskin (11, pág. 402) as amostras de ensaio, normalmente, eram barras de argamassa de cimento — areia 1:3, de secção transversal de 1" x 1". Eram geralmente imersas em banho de ácido sulfúrico a 1%, renovado semanalmente. Foram medidos: módulo de elasticidade, perda de peso e expansão. Vamos reproduzir apenas alguns resultados:

- a) amostras preparadas com fator água/cimento de 0,60 falharam muito mais rapidamente do que aquelas com 0,35 e 0,45;
- b) aumentando a proporção de cimento, aumentou o tempo de vida, grosseiramente, na proporção do consumo de cimento;
- c) houve, em geral, resistência crescente ao ataque com teor decrescente de

aluminato tricálcico. Com 12% de C₃A a vida foi de 7 semanas, com 7% de C₃A a vida foi aumentada para cerca de 22 semanas;

- d) uso de dolomita ou pedra calcária para agregados teve o mais marcado efeito no prolongamento da vida. Em comparação com vida média, até desintegração, de 35 semanas para amostras comparáveis com agregados não calcários, uma amostra feita com dolomita durou 90 semanas; uma outra durou 120 semanas. Duas outras não tinham desintegrado a 80 e 90 semanas mas tinham perdido a maioria do seu peso. Uma amostra feita com pedra calcária não tinha se desintegrado com 90 semanas e tinha perdido somente cerca de 25% de seu peso e 20% do seu módulo de elasticidade. Por extrapolação pareceria que poderia durar 180 semanas ou mais.

O efeito de agregados calcários, primeiramente advogado por Stutterheim e Van Aardt, é especialmente importante. Há toda a razão de supor que o efeito benéfico do agregado calcário sobre a durabilidade do concreto será no mínimo tão pronunciado para um tubo de esgoto que contém moderadas concentrações de sulfeto como para barras imersas em ácido em laboratório. Uso de agregado calcário não alterará a velocidade de reação do ácido, na parede do conduto, porque substancialmente todo o ácido reagirá de qualquer modo. Mas, o uso de agregado de pedra calcária ou de dolomita aumentará pelo menos cinco vezes a quantidade de ácido exigida para reagir com um certo volume de concreto. Poder-se-ia esperar que haveria um retardamento correspondente da velocidade de penetração no concreto.

12.2 — Hampton Roads Sanitation District

— Talvez por iniciativa de Pomeroy (11, pág. 403) foi feita uma tentativa para testar agregados-calcários em atmosfera de esgoto. Amostras de cinco composições diferentes foram preparadas no formato de cilindros de 2" x 4". Foram colocados, em duplicata, num poço de visita em Norfolk, Va., por meio de cooperação do Hampton Roads Sanitation District. O poço de visita acha-se a jusante de um conduto forçado, com condições extremamente severas de sulfeto de hidrogênio. Quando as amostras foram removidas em menos de um ano, a corrosão estava bastante adiantada. Em lugar onde o ar é turbulento, várias amostras não tiveram a mesma exposição. A não ser que seus luga-

res fossem mudados de tempo a tempo, não obter-se-ia, necessariamente, um retrato verdadeiro da sua susceptibilidade. Assim, as duas amostras da segunda mistura (brita de pedra calcária, areia silicosa), mostraram proporções de corrosão muito diferentes. Mas, se considerarmos o desempenho médio de cada par, os resultados parecem oferecer confirmação muito forte da dedução de que a vida é aumentada pela incorporação de pedra calcária.

12.3 — City of Tuscaloosa, Ala. — Pomeroy informa-nos (11, pág. 403) que, baseando-se na publicação de Stutterheim e Van Aardt (12) e nos resultados dos testes referidos em 12.2, a cidade de Tuscaloosa, Ala., especificou agregado de pedra calcária para interceptores de esgoto onde havia probabilidade de pequena quantidade de sulfeto ou onde o fator de segurança foi desejado. Diversas milhas de interceptores de esgotos nas bitolas de até 48" foram instaladas ali, em 1958, usando tubo de concreto tendo pedra calcária, como agregado.

12.4 — City of Palm Springs — Pomeroy informa-nos (11, pág. 403) que a cidade de Palm Springs, da Califórnia, estava naquele ano de 1960 exigindo agregado de pedra calcária para alguns de seus condutos de esgoto.

12.5 — San Diego Metropolitan Sewerage Project — No importante sistema de interceptor de San Diego (9), sob a orientação da conhecida firma de Consultoria Sanitária "James M. Montgomery Consulting Engineers, Inc., Pasadena, Califórnia", assessorada por Dr. Richard Pomeroy, foram adotados, em 1961, após acurada seleção (99, pág. 47):

- a) para o trecho do Rio San Diego à Estação de Bombas n.º 2, para tubos de Ø 96", entre tubo de agregado granítico não revestido e tubos de agregado calcário foi escolhido este último por oferecer maior garantia a despeito de custar 14% mais caro;
- b) para o trecho da estaca 284 + 00 a 410 + 70, para tubo Ø 108", entre tubo com agregado granítico com revestimento de cloreto de polivinil e tubo de agregado calcário foi escolhido este último por ser mais barato e, evidentemente, por oferecer garantia de durabilidade igual ou maior.

12.6 — Portland Cement Association — Pomeroy, novamente nos informa, em agosto de 1969 (16), que são disponíveis resultados de tubulação de demonstração, instalada pela Por-

tland Cement Association, em Newbury Park Academy, em Ventura Country, Califórnia, para escoar o efluente de um tanque séptico. Desde que efluentes de tanque séptico são caracterizados por altas concentrações de sulfeto, a tubulação foi feita de manilha de barro vitrificado. Contudo, entre dois poços de visita, uma linha by-pass foi instalada para testar concretos de várias composições sob condições fortemente corrosivas. Foram usadas cinco dosagens, cada uma feita em tubo de diâmetro de 8" (20 cm) tendo espessura de parede inicial de 15/16" (23,5 mm). Jogos repetidos de cinco tubos foram instalados em série de modo que a mesma água séptica de esgoto escoou através de todos.

Embora não tenha sido possível a determinação exata da profundidade de corrosão, uma vez que as paredes não eram inteiramente uniformes em espessura, as aparentes diferenças não foram consideradas importantes, exceto no tubo de agregado de pedra calcária em que o ataque é consideravelmente menor. Avalia-se que a velocidade de corrosão daquele tubo seja aproximadamente um terço da média dos outros. O carbonato de cálcio equivalente é 3,7 vezes maior do que a média dos outros quatro tubos. Portanto, é assim grosseiramente confirmada a hipótese de que a velocidade de corrosão será inversamente proporcional à alcalinidade. Com a mesma proporção de formação de ácido, um tubo de agregado calcário durará, aproximadamente, cinco vezes mais tempo do que tubo de agregado granítico.

Mesmo que sejam previstas condições muito moderadas de sulfeto, o agregado calcário é desejável, desde que a parede do tubo permaneça lisa por período de tempo muito mais longo.

Tubos de agregado calcário têm sido especificados em muitos lugares, principalmente na Califórnia e Arizona. Notável instalação é o grande interceptor de esgoto em San Diego, Califórnia (12.5). Foi exigida espessura adicional de parede. Como esperado, o tubo está sendo corroído mas com velocidade relativamente baixa, considerando-se as condições algo severas de sulfeto. Com a presente velocidade de corrosão, o tubo duraria 40 anos ou mais. Com escoamentos crescentes de água de despejo,

contudo, as concentrações de sulfetos na água de despejo são decrescentes.

A vida esperada, por conseguinte, é muito mais do que 40 anos.

Designação	Tipos de dosagem, adotados nos tubos de experiência	Alcalinidade como carbonato de cálcio
P	Cimento tipo II com pozolana	20,3
I	Cimento tipo I	23,5
II	Cimento tipo II	24,4
V	Cimento tipo V	27,2
L	Cimento tipo II, agregado de pedra calcária.	87,9

13. CONCLUSÕES*

Levando em conta as observações de Garber, apresentadas no item 9, em que condições favoráveis de concentrações de esgoto podem ser mudadas, tornando inadequados os projetos de condutos de concreto para esgoto, concluímos que, normalmente, os condutos de concreto devem ser construídos ou fabricados com agregados calcários, fino e grosso, quando isso for possível ou quando o acréscimo de preço não for proibitivo. Além disso o cimento a empregar será do tipo Portland comum, devendo satisfazer às exigências da EB-1 e mais as seguintes:

— o teor de C_3A ($3CaO \cdot Al_2O_3$) não deve ser maior do que 6%, sendo calculado pela fórmula de Bogue;

— o módulo de alumínio $M_A = \frac{Al_2O_3}{Fe_2O_3}$

* O autor deste artigo, posteriormente à sua elaboração, teve conhecimento, quando trabalhava como engenheiro consultor da CETESB, de notável publicação que irá contribuir para o aperfeiçoamento da tecnologia de confecção de concreto resistente à corrosão em meios sulfatados. Trata-se de "Concrete for Long Time Service in Sulfate Environment — G. L. Kalousek, L. C. Porter, and E. J. Benton — Engineering and Research Center, Division of General Research Bureau of Reclamation, Denver, Colorado 80225 (Communicated by Sir Frederick M. Lea) Cement and Concrete Research, vol. 2, págs. 79-89, Jan., 1972. Pergamon Press, Inc. Printed in the United States". Baseado nessa valiosa e recente pesquisa, o autor teve a oportunidade de redigir especificações dos materiais do concreto destinado à tubulação de concreto armado do lançamento submarino do esgoto de Santos e S. Vicente, que projetou para a Companhia de Saneamento da Baixada Santista — SBS — quando trabalhava como engenheiro consultor da CETESB. Essas novas especificações diferem da apresentada neste artigo.

deve ser ≤ 1.4 ;

— o teor de cal livre não deve ser maior do que 0.5%.

Além disso, o concreto deverá ser compacto, com consumo mínimo de cimento de 400 kg/m³ e fator água: cimento ≤ 0.40 . Deverá ser usado, no concreto, aditivo incorporador de ar, o qual deverá obedecer à especificação da ASTM, C 260-69. A quantidade será tal que acarretará incorporação de não mais de 3% de ar, por volume de concreto, quando descarregado da betoneira.

Na falta de agregados calcáreos, a segunda alternativa seria o emprego da placa de cloreto de polivinil, "Amerplate" fabricada pela Amercoat Corp. Brea, Calif. (17, 18) subsidiária da "American Pipe and Construction Co."

14. REFERÊNCIAS

1. Yoshio Kunimoto — **Sewer Corrosion Problems — The Honolulu System**, "Materials Protection" — Nov. 1966 — págs. 8-11.
2. Richard Pomeroy and Fred D. Bowlus — **Progress Report On Sulfide Control Research** — Sewage Works Journal — July, 1946 — págs. 597-640.
3. C. D. Parker — **Mechanics of Corrosion of Concrete Sewer by Hydrogen Sulfide** — Sewage and Industrial Wastes — December, 1951 — págs. 1.477-1.485.
4. Charles H. Lawrence — **Sewer Corrosion Potential** — Journal WPCF — Aug. 1965 — págs. 1.067-1.091.
5. James E. Hawthorn — **Hydrogen Sulfide Damage to Concrete Pipe** — Journal WPCF — Mar., 1970 — págs. 425-430.
6. José M. de Azevedo Netto e Max Lothar Hess — **Tratamento de Águas Residuárias** — 1970 — Separata da Revista DAE.
7. H.W. Streeter, C.T. Wright e R.W. Kehr — **Measurement of Natural Oxidation in Polluted Streams. III. An Experimental Study of Atmospheric Reaeration Under Stream — Flow Condition**, Water Works and Sewage, 8, 2, 282, 1936.
8. W.J. Davy — **Influence of Velocity on Sulfide Generation in Sewers** — Sewage and Industrial Wastes — Sep. 1950 — págs. 1.132-1.137.
9. William J. Carroll — **Dual Protection for a concrete sewer System** — Civil Engineering — January 1962 — págs. 44-47.
10. William F. Garber, Joe Nagano, and Frank F. Wada — **Instrumentation For Hydrogen Sulfide Measurement** — Journal WPCF — May 1970 — págs. R209-R220.
11. Richard Pomeroy — **Protection of Concrete Sewers in the Presence of Hydrogen Sulfide** — Water & Sewage Works, October, 1960 — págs. 400-403.
12. Stutterheim, N. and Van Aardt, J.H.P. — **Corrosion of Concrete Sewers and Some Remedies** — South African Ind. Chem. No. 10, 1953.
13. Van Aardt, J.H.P., **National Building Research Inst. Bull.**, South Africa, No. 13, March, 1955.
14. Van Aardt, J.H.P., **National Building Research Inst. Bull.**, South Africa, No 17, Fev. 1959.
15. **Corrosion of Concrete Sewers**, South African Council for Scientific and Indus. Res. H. Schrader, City Engineer, Johannesburg, Chm. of Steering Comm. 1959.
16. Richard D. Pomeroy — **Calcareous Pipe For Sewers**, Journal WPCF — August, 1969 — págs. 1.491-1.493.
17. C. G. Munger — **Sewer corrosion and protective coatings**, Civil Engineering, May 1960, págs. 57-59.
18. **Concrete Sewers Should Last 100 years**, a Staff report — Materials Protection, Nov. 1966, págs. 13-14.