



ASSOCIAÇÃO PORTUGUESA DOS RECURSOS HÍDRICOS



ABES ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE  
ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL

I SIMPÓSIO LUSO-BRASILEIRO DE  
ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL

SISTEMAS DE COLECTA, TRATAMENTO E DISPOSIÇÃO FINAL  
DE ESGOTOS SANITÁRIOS

CORROSÃO MICROBIOLÓGICA EM TUBOS DE CONCRETO

BRUNO CORAUCCI FILHO

Engenheiro Civil, M.Sc. em Engenharia Sanitária, Professor Assistente do Departamento de Hidráulica e Saneamento da Faculdade de Engenharia de Limeira da UNICAMP, Limeira, Estado de São Paulo, Brasil.

#### RESUMO

Avaliar se a corrosão dos diferentes materiais constituintes dos coletores dos esgotos domésticos, principalmente concretos, tem origem na atividade biológica de microrganismos neles contidos, e realizar um levantamento da corrosão através da perda de peso são os principais objetivos deste trabalho.

Dentre os microorganismos, destaque especial tem as bactérias redutoras de sulfatos que libertam no corpo dos esgotos o gás sulfídrico ( $H_2S$ ) que ao passar para a parte superior da lâmina líquida (atmosfera do esgoto) será oxidado a ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ), por atividade também metabólica, de outro grupo de bactérias.

Para efetuar os testes nos materiais, construiu-se em laboratório cubas de vidro e manilhas cerâmicas devidamente adaptadas para receber o resíduo. Na parte superior destes recipientes foram instalados os corpos de prova, para o eventual ataque do ácido. Em alguns recipientes colocou-se o resíduo em franca decomposição biológica e em outros, resíduos esterilizados.

Os corpos de prova constituem-se principalmente de concretos contendo cimento comum tipo "Portland", especificação ASTM - cimento tipo II. Foram construídas pastilhas (corpos de prova) com diferentes traços, diferentes fatores de água/cimento e diferente tipo de cura; também foram usados materiais como a cerâmica cozida, ferro fundido e PVC.

Durante o processo de avaliação de corrosão foram verificados os valores prováveis do pH e da concentração do ácido formado. Também foram efetuadas avaliações na estrutura do material, com o uso de microscópio, para detectar os cristais que se formaram na superfície do corpo de prova em decorrência das reações dos constituintes dos cimentos com o ácido sulfúrico.

## INTRODUÇÃO

A corrosão em tubos de concreto utilizados em redes coletoras de esgoto constitui problema frequente e, atualmente, vem se tornando preocupação constante nas escolhas dos materiais para a construção de novas redes. Coletores à seção plena ou que funcionem como condutos forçados não têm apresentado, ao longo do tempo, tal problema, porém tem os efeitos corrosivos majorados no ponto de descarga. Segundo alguns autores (MEYER 1970, THISTLETHWAYTE 1972), a corrosão ocorre de forma acentuada em regiões de clima quente, principalmente aquelas próximas à linha do Equador.

Existem materiais inertes que são largamente utilizados nos sistemas de esgotos, por exemplo, PVC e manilhas de barro cozida (vidrada ou não), mas, à medida que as cidades crescem, a demanda de água de abastecimento aumenta, implicando no uso de coletores de grandes portes. Assim, estas tubulações, acima de certos diâmetros, não atendem aos esforços mecânicos provocados pelas cargas externas que atuam sobre elas. As tubulações de concreto, armado ou não, embora não sejam de material inerte, satisfazem esta condição exigente e passam a ter prioridades sobre aquelas, além do que, é escolha preferencial dos técnicos em vista do seu menor custo, redundando em projetos mais econômicos.

O fenômeno da corrosão do concreto não é característica somente das partes internas dos coletores; as partes externas também são afetadas se expostas a solos agressivos.

Muitos são os autores que citam os problemas da corrosão no concreto (ALMEIDA e LUDWIG 1979, ANDRADE 1975, CARROL 1962, HANSEN et al 1958, KIENOW 1975, MATHENY e BILLETTER 1970, MEYER 1980, PARKER 1951, POMEROY 1969 a, POMEROY 1960 c). No Brasil pesquisas efetuadas em tubulações de esgoto (Andrade 1975, Lago Helene 1981, Moraes 1974), através de observações em escavações em ruas e avenidas, mostraram que algumas delas apresentavam sinais evidentes de deterioração, mesmo após pouco tempo de operação e em outras simplesmente verificou-se que elas não mais existiam.

A bibliografia estrangeira (GARBER 1970, HAWTHORN 1970, SWAB 1961) também traz notícias dos problemas causados pelo efeito da corrosão. Localidades como Los Angeles; o interceptor tronco da cidade de São Diego; a corrosão acentuada nas paredes laterais e laje superior de um tunel interceptor de esgotos em Honolulu no Havai; além de outras.

Tem sido observado (MEYER e LEDBETTER 1970, MUNGER 1960, POMEROY 1969 a, POMEROY 1960 b) que revestimentos introduzidos nas superfícies interna e externa de coletores não constituem boa solução. No caso de se utilizar resinas sintéticas, às vezes, o efeito se torna muito pior do que se não tivesse sido aplicado. Cimentos resistentes a sulfatos também não tem tido aplicação com respostas satisfatórias. Portanto o problema necessita ser estudado com maiores cuidados de forma a poder prever ou detectar sua ocorrência, permitindo ao técnico elaborar um projeto mais detalhado.

Inúmeras tem sido as experiências relacionadas com a corrosão em todo o mundo. Iniciou-se com POMEROY e BOWLUS (Los Angeles) seguidos por estudos de PARKER, DANY, e THISTLETHWAYTE (África do Sul e Austrália). Sua origem se deve principalmente à presença de sulfatos nos esgotos. Estes sulfatos são utilizados por bactérias, que os usam como aceptor de hidrogênio para a sua atividade metabólica e em consequência os reduzem a sulfetos. Entre os sulfetos formados inclui-se o gás sulfídrico ( $H_2S$ ) que por várias razões favorecem sua passagem para a atmosfera dos esgotos. É nesse ambiente, úmido e quente, contendo gotículas d'água, oxigênio, gases provenientes da decomposição biológica, e nutrientes, que conferem um habitat ideal para o desenvolvimento de bactérias que irão

oxidar o gás sulfídrico a ácido sulfúrico. O ácido formado, através da absorção, se fixará às paredes dos coletores. Com o passar do tempo a concentração irá aumentando, favorecendo o ataque às tubulações.

Analisando o concreto chega-se à conclusão que o seu constituinte mais importante, o cimento, possui compostos (óxidos) que não reagiram durante o processamento do "clínker", ficando como elementos livres.

Entre estes óxidos, assume particular importância o óxido de cálcio (CaO), os silicatos e aluminatos de cálcio ( $3 \text{ CaO} \cdot \text{SiO}_2$ ;  $2 \text{ CaO} \cdot \text{SiO}_2$ ;  $3 \text{ CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ ;  $4 \text{ CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ ), que, reagindo com ácido sulfúrico fixado às paredes, terá como produto de reação o sulfato de cálcio hidratado. Este sal, insolúvel, apresenta-se na forma de cristais esbranquiçados que aumentam de volume, submetendo o concreto a esforços localizados no ponto de sua formação. Em consequência disto, os cristais começam a se desagregar das paredes, e juntos com eles pedaços de concreto da tubulação, deixando novas superfícies expostas a novos ataques de ácido. Eventualmente, se o concreto for armado, a armadura também será atacada, levando a peça a uma inevitável ruína. Esta é a sequência sucinta dos problemas e do mecanismo da corrosão química, exercida por atividades microbiológicas em tubulações de esgoto (fenômeno conhecido como corrosão microbiana das tubulações de esgotos).

Com base nisto, o presente trabalho efetua uma avaliação prática, mostrando que a origem das substâncias que provocam a corrosão, vem da atividade biológica, em meio contendo esgotos domésticos. Nesta parte, fez-se uma avaliação utilizando valores obtidos da perda de peso experimentados pelos materiais mais comuns, constituintes das redes coletoras. Corpos de prova, representantes destes materiais foram colocados em recipientes contendo resíduos domésticos, sendo que uns "in natura" e outros em estado esterilizado. Estes recipientes foram convenientemente montados em laboratório.

Nesta avaliação, deu-se ênfase aos materiais de concreto, que possuem cimentos nacionais comuns "PORTLAND", com especificação ASTM - cimento tipo II, julgando ser este o cimento mais freqüente utilizado em obras civis (AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS 1978).

## A CORROSÃO NO CONCRETO

A corrosão no concreto se deve às características dos cimentos, mais precisamente a alguns componentes minerais que o constituem. A forma, o tipo, a taxa de corrosão, etc. irão depender do ambiente e das substâncias agressivas nele contidas. Segundo BICZOK (Biczok 1972) as corrosões podem ser classificadas em três tipos: a ação da lixiviação ou corrosão do Tipo I, das trocas iônicas (reações ácidas) ou corrosão do Tipo II, da expansão ou corrosão do Tipo III, produzindo, conforme seu efeito, o desgaste da peça.

As tubulações de concreto usadas em sistemas de esgotamento sanitário, estão sujeitas à ação simultânea destes três tipos de corrosão. No entanto, a corrosão causada por sulfatos é preponderante onde há a possibilidade, da geração de sulfetos, os quais, sendo utilizados por bactérias específicas, produzirão o ácido sulfúrico que reagirá com os componentes do cimento promovendo reações químicas. O produto desta reação é um sal expansivo que promoverá o lascamento do concreto, e portanto, estabelecer uma corrosão do Tipo III.

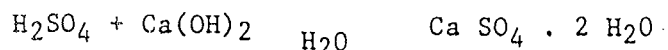
A presença de expansões e tensões localizadas no concreto pode ocorrer devido à presença de:  $\text{CaSO}_4$ ,  $2 \text{ H}_2\text{O}$ , ao conteúdo de CaO livre e ao MgO existente no cimento "PORTLAND". A concentração do C<sub>3</sub>A também é muito importante, a ponto de se afirmar que quanto menor a concentração de C<sub>3</sub>A melhor é a resistência do cimento em relação ao ataque de sulfatos (POMEROY 1960 c). Não existe uma concen

tração absoluta para caracterizar uma resistência; o problema é um tanto complexo e repleto de alternativas, porque não existem cimentos totalmente resistentes aos sulfatos, nem mesmo o Tipo V, segundo a ASTM (cimentos altamente resistentes a sulfatos) (POMEROY 1969 a). BICZOK (BICZOK 1972) pesquisou a resistência do concreto com diferentes concentrações de C<sub>3</sub>A confirmando a tese de que menores concentrações de C<sub>3</sub>A tornam o cimento mais resistente a sulfatos. A explicação que se tem é que quanto menor for a quantidade de C<sub>3</sub>A maior é a possibilidade do aluminato combinar-se na forma C<sub>4</sub>AF, que é um composto inofensivo do "clinker". Segundo este mesmo autor, o C<sub>4</sub>AF somente será atacado, mesmo assim com pequena intensidade, se ocorrerem soluções de Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> e MgSO<sub>4</sub> em concentrações maiores que 2%.

O C<sub>3</sub>S não é atacado diretamente pelo anion SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>. Inclusive, quando existem altas concentrações de C<sub>3</sub>A ele atua favoravelmente, pois além de possuir grandes concentrações, ele proporciona grandes resistências iniciais de forma que a solução agressiva não penetra tão rapidamente no corpo do concreto e este pode resistir melhor às expensas. No entanto, isto não implica que o C<sub>3</sub>S irá evitar a corrosão, ele apenas inibe, e o desgaste devido ao C<sub>3</sub>A é inevitável.

Devido a agressividade do sulfato vários sais poderão ser formados no interior do corpo do concreto, podendo citar alguns como: o gesso e a *etringita*. A *etringita* é um sal complexo conhecido como "sal de Michaelis - Candlot - Deval".

O gesso formado da reação do sulfato (anion SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>) com o Ca (OH)<sub>2</sub>, que é liberado pelo cimento nos poros do concreto, se cristaliza com absorção de duas moléculas de água. Se o SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> for, por exemplo, o do ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) liberado no meio devido às atividades biológicas, a reação fica:



O Ca SO<sub>4</sub> . 2 H<sub>2</sub>O (gesso) formado, se cristaliza e é acompanhado de um aumento de volume exercendo uma ação expansiva nos poros do concreto. O aumento do volume é de 17,7%, o que impõe às capas superficiais um desmoronamento.

A *etringita* é um sal de extrema importância que, devido a sua ação na estrutura do concreto, reduz a reação do ion SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> com o Ca (OH)<sub>2</sub> para um segundo plano. A *etringita* se cristaliza nas soluções saturadas na forma de cristais que ocupam um volume final de 227% maior do que o CaSO<sub>4</sub> . 2 H<sub>2</sub>O. Portanto, produzindo uma expansão aproximadamente 2,3 vezes maior. A consequência é a inevitável ruptura do concreto com um grau de agressividade muito maior que a do gesso.

A manilha de barro vidrada internamente tem provado, em todo o mundo, ser o material que mais resiste ao ataque do ácido sulfúrico. O pequeno diâmetro disponível e a pequena capacidade de resistência às cargas externas e internas, limitam o seu uso (POMEROY, 1960c). Por razões econômicas, as soluções com tubulações de concreto são preferidas.

O tubo "POLYARM", feito com resina de poliéster e armado com fibra de vidro e areia, parece ser bastante bom. É de grande resistência mecânica e à corrosão. Está encontrando boas aplicações junto a emissários e interceptores médios. O emprego de PVC tem-se mostrado satisfatório até mesmo como revestimento, mas necessita de maiores pesquisas.

Os condutos de concreto para esgotos são muito usados e de certa forma pesquisados. Mesmo no que diz respeito ao revestimento das tubulações de concreto, a solução parece recair também no uso do concreto (espessura extra). Artigos são encontrados na bibliografia. A corrosão parece ser inversamente proporcional ao grau de tratabilidade dispensada ao concreto, tais como: fator água - cimento, traço de cimento usado, característica do cimento, centrifugação, cura, etc.

Na verdade a solução ideal deverá ser aquela em que o valor econômico prepondere; no entanto, deve-se evitar a opção por soluções sofisticadas e por aquelas sem a adequada pesquisa.

## EXPERIÊNCIA REALIZADA

### Material e Método

Para a realização prática do presente trabalho, houve a necessidade de se desenvolver a pesquisa em laboratório. Esta resolução foi adotada de modo a permitir observar a corrosão apresentada e verificar o seu grau.

Assim a experiência foi desenvolvida em ambientes contendo esgotos domēsticos. Estes ambientes eram constituídos de aquários de vidros, sendo que em um foi colocado esgoto em estado séptico e no outro esgotos em estado esterilizado. Na parte superior do aquário, na tampa, foram fixados materiais onde se dēsejava medir o efeito da corrosão. Estes materiais eram constituídos de cerâmica, PVC, e concretos de diferentes tratabilidades.

A razão de colocar as amostras em ambientes diferentes se deve ao fato de que num ambiente esterilizado as bactérias reductoras de sulfato seriam destruídos impedindo assim de que possíveis sulfetos gerados não fossem oxidados a ácido sulfúrico e com isso evitar a corrosão por este composto.

### Descrição das Amostras

Os corpos de prova, com dimensões retangulares e cilíndricas foram moldados e executados em laboratório segundo critérios de dosagem normalizados. Utilizou-se também, corpos de prova de concreto, sem dimensões definidas, retiradas das tubulações usadas nos sistemas de esgotos sanitários. O cimento constituinte destes elementos, possui especificação ASTM, tipo II "PORTLAND", CA-320 marca ITAÚ, sendo utilizada areia do rio convenientemente lavada e de granulometria mēdia para as amostras das tubulações, e de granulometria fina para os corpos dē prova moldados em laboratório.

As amostras retangulares possuem dimensões 2,0 x 6,0 cm e 0,8 cm de espessura; os cilindros diâmetro 5,0cm e espessura igual a 1,5 cm.

As amostras de PVC, manilha cerâmica, e concreto retirado das tubulações não possuem dimensões definidas, mas seu tamanho estão próximos às das primeiras.

Quanto a tratabilidade foram usados os filtros com cimento e areia no traço 1:3 fator água cimento igual a 4% e 8%, uma sob câmara umida, com resistência à compressão aos 28 dias (fc 28) igual a 2000 e 5000 lb/pol<sup>2</sup> (140 e 351 kg/cm<sup>2</sup>).

Amostra, sem dimensões definidas, de concreto possui traço 1:3:3 (usando -se pedra 1) sem controle do fator água - cimento.

Os métodos para avaliar a provável corrosão dos materiais, se baseará em 2 (dois) modos: primeiro: observações visuais na estrutura dos materiais das amostras a serem ensaiadas, com o auxílio do microscópio; segundo: uma verificação da perda de peso apresentada por aqueles materiais.

Para as análises mineralográficas, houve a necessidade de se conhecer o aspecto visual dos cristais que possuem a predominância de sulfatos na sua estrūtura, de forma a observar sua textura, cor, etc. Para tanto, tomou-se amostras dos diferentes materiais, os quais foram imersos em recipientes contendo ácido sulfúrico, durante um período de tempo suficiente para permitir a formação dos referidos cristais. Estas amostras foram posteriormente retiradas, dēixadas

por um tempo para secar ao ar e levadas ao microscópio para análise dos intergrãos da estrutura.

Para as análises da perda de peso foi utilizada uma balança analítica de precisão.

A temperatura dos ambientes foi mantida a  $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$  e a medida do pH foi efetuada continuamente. A constatação da geração de sulfeto foi avaliada segundo a coloração apresentada por uma pastilha de porcelana embebida em acetato de chumbo; no ambiente contendo esgoto doméstico em estado séptico a coloração da pastilha era enegrecida e no ambiente contendo esgoto esterilizado a pastilha não apresentava modificação da coloração em relação à cor original.

### DISCUSSÃO E RESULTADOS

Os valores da perda de peso obtidos após exposição dos materiais nas câmaras contendo esgotos estão apresentados no gráfico, sendo os resultados em % do peso inicial.

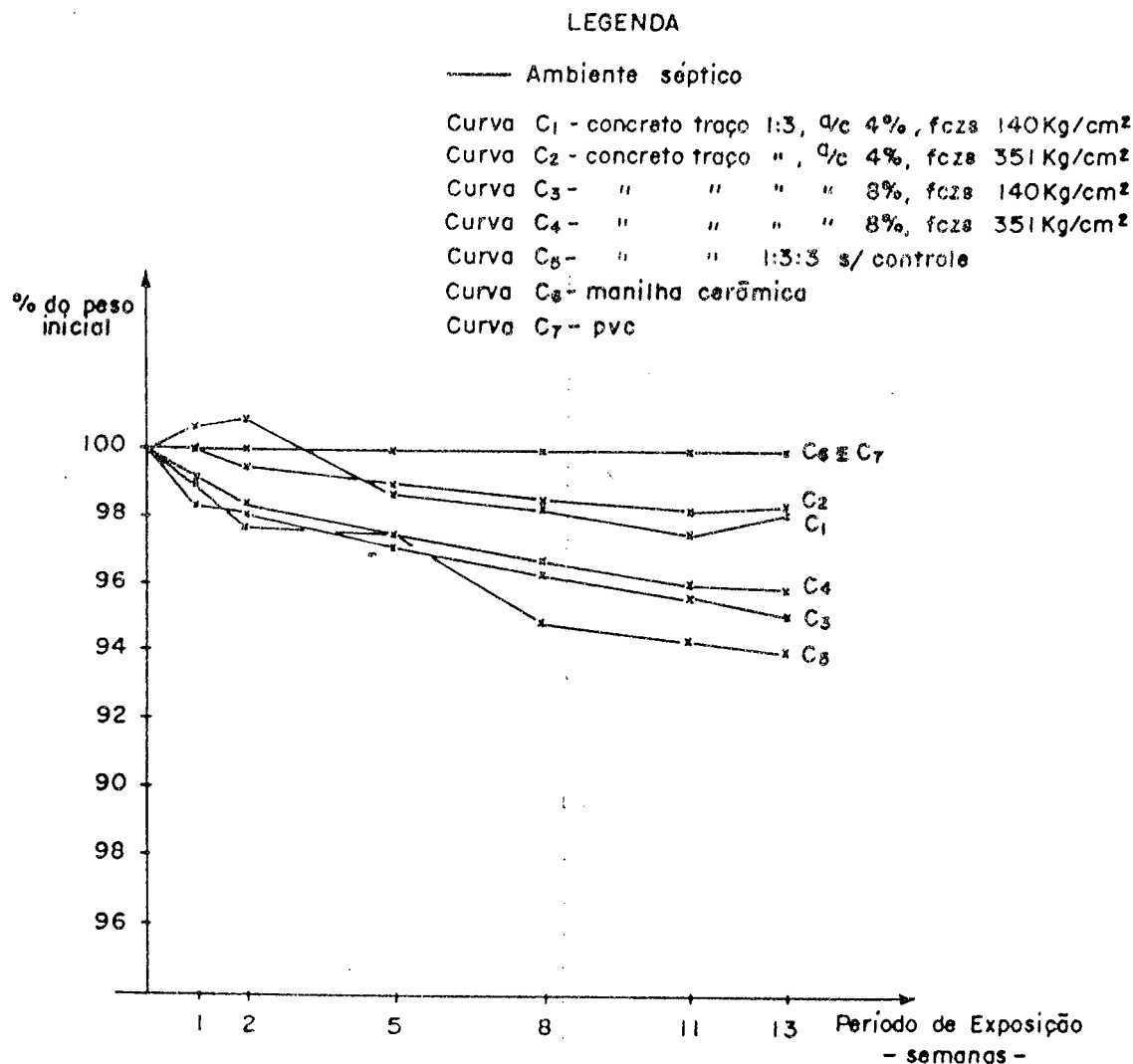


GRÁFICO: Efeito da corrosão em corpos de prova, expostos em ambientes contendo esgotos domésticos em estado séptico

Neste resultado, pode-se observar que o PVC e a manilha cerâmica não sofrem corrosão, e o concreto qualquer que seja a tratabilidade ocorreu desgaste.

A corrosão é inversamente proporcional ao traço do concreto e diretamente proporcional ao fator água cimento, assim quanto maior o traço e menor o fator água-cimento menor será o efeito da corrosão. Pode-se antecipar, em vista disso que o concreto das tubulações, observadas as condições do C3A, devam possuir as condições acima mencionadas.

No gráfico não estão plotados os valores da perda de peso do concreto exposto em ambiente contendo esgoto no estado esterilizado, mas pode-se adiantar que mesmo neste ambiente o concreto sofre desgaste. No entanto o valor do desgaste apresentado é nitidamente inferior à aquele exposto em ambiente contendo esgoto no estado séptico. Segundo BICZOK (BICZOK, 1972), é possível ocorrer a reação dos constituintes minerais dos cimentos por substâncias diferentes do  $H_2SO_4$ . O que altera são as formas de reação, diferente portanto da reação por expansão.

Uma tubulação de esgoto sanitário, projetada para suportar uma corrosão por sulfatos ao longo de sua vida útil, atenderá as condições de desgastes por outro tipo de compostos, garantindo portanto a auto suficiência da peça.

As avaliações microscópicas mostraram que os corpos de prova mantidos em ambientes sépticos, possuíam cristais esbranquiçados no inter grão do concreto. Estes cristais não existiam no inter grão das peças de concreto mantidos em ambientes esterilizados, tornando evidente que não ocorreu oxidação de sulfetos a sulfato e portanto não houve atividade microbiológica.

Para melhor identificação dos cristais formados na câmara contendo esgoto séptico, mergulhou-se um corpo de prova em ácido sulfúrico a 0,1% e posteriormente comparou-se o aspecto destes cristais com os do corpo de prova em questão, verificando-se sua similitude.

Com base nestas observações, pode-se assumir que nos tubos coletores de esgoto, em locais possuindo produção de ácido sulfúrico, a corrosão parece ser de maior intensidade na parte situada acima da lâmina líquida. No entanto, a parte submersa desta tubulação poderá mostrar sinais de deterioração porque poderá ocorrer dissoluções dos constituintes dos cimentos, embora seu efeito seja menor. Para melhor julgar, no entanto, seria aconselhável ensaiar os materiais em relação aos esforços mecânicos para verificar o seu comportamento e tirar conclusões mais precisas.

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

01. ALMEIDA, S.A.S. & LUDWIG, R.G. - Controle da corrosão por sulfetos no Projeto de Interceptores de Esgoto, Revista DAE, São Paulo, ano 39 (121) : 70-81, 1979.
02. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. - Portland Cement (c150-74) Annual Book of ASTM Standards, Philadelphia, p. 100-6, 1978.
03. ANDRADE, R.D. - Corrosão de Condutos de Concreto para Esgotos: Causas e Remédios. Revista DAE, São Paulo, 35 (101): 79-87, 1975.
04. BICZOK, J. - Corrosion y Protection del Harmigon. 6a. ed. Bilbao, Ed. Urno, 1972, c. 1956, 715 p.
05. CARROL, W.J. - Dual Protection for a Concrete Sewer System. - CIVIL ENGINEERING ASCE, New York, 32 (1): 44-7, jan. 1962.
06. GARBER, W.F. - Instrumentation of Hydrogen Sulfide Measurement. J. Water Pollution Control Federation. New York, 42 (5): R 209-20, may, 1970.

07. HANSEN, W.C. et alii - Corrosion of concret by Sulfuric Acid - ASTM Bulletin, Easton, (231): 85-B, july, 1958.
08. HAWTHORN, J.E. - Hydrogen Sulfide Damage to Concrete Pipe. J. Water Pollution Control Federation, New York, 42 (3): 425-30, mar., 1970.
09. KIENOW, K. - Protecting Reinforced Concrete. Water & Lemage Work 3, Chicago, 122 (10): 94-7, oct. 1975.
10. LAGO HELENE, P.R. - Corrosão das Armaduras em Concreto Armado. - SIMPATCON 4º Simpósio de Aplicação da Tecnologia do Concreto, Campinas, Sao Paulo, out., 1981, 44 p.
11. MATHENY, F. M. & BILLETER, J.J. - Revestimento de tubulações no Local com Argamassa de Cimento, Sua História, Desenvolvimento e Técnica Atual. Revista DAE, São Paulo, 30 (77): 80-9, set., 1970.
12. MEYER, W.J. - Case Study of Prediction of Sulfide Generation and Corrosion in Sewers. J. Water Pollution Control Federation, New York, 52 (11):2666-74, nov., 1980.
13. MEYER, A.H. & LEDBETTER, W.B. - Sulfuric Acid Attock on Concrete Sewer Pipe. PROC. ASCE J. Sanitary Engineering Division, New York, 96 (5): 1167-82 , oct., 1970.
14. MORAES, M.E. - Proteção Galvânica, Argamassas Reguladoras. Revista DAE, São Paulo. 34 (98): 36-8, dez., 1974.
15. MUNGER, C.G. - Sewer Corrosion and Protective coatings. Civil Engineering . ASCE, New York, 30(5):57-9, may, 1960.
16. PARKER, C.D. - Mechanics of Corosion of Concrete Sewers by Hidrogen Sulfi-  
de. Sewage and Industrial Waster, New York, 23(12): 1477-85, Dec., 1951.
17. POMEROY, R.D. - Calcareous Pipe for Sewers. J. Water Pollution Control Fede-  
ration, New York, 41(8):1491-3, , 1969.
18. POMEROY, R.D. - Control of Hidrogen Sulfide in Sewers. Water and Sewage -  
Works, Reference & Data, Chicago, 104:R 249-54, 1957.
19. POMEROY, R.D. - Protection of Concrete Sewers, in the Presence of Hydrogen  
Sulfide. Water and Sewarge works. Chicago, 107 (10):400-3, oct. 1960.
20. SWAB, B.H. - Effects of Hydrogen Sulfide on Concrete Structure. Proc. ASCE.  
J. Sanitary Engineering Division, New York, 87(5): 1-15, sep., 1961.
21. THISTLETH WAYTE, D.K.B. - The control of Sulphides in Sewarage Systems. Sy-  
dney, Butter worths, 1972, 172 p.