

---

# Tubos de Fibrocimento para Redes de Esgotos — Corrosão e Durabilidade — \*

Dr. SHAUL BAR-SHLOMO (\*\*)

---

## RESUMO

Houve nos últimos 15 anos um considerável crescimento na produção e utilização de tubos de fibrocimento que hoje chegam até 2.500

mm de diâmetro. Entre as razões desse desenvolvimento tem-se a alta resistência à corrosão e grande durabilidade.

Em princípio os processos corrosivos são reações eletroquímicas ou químicas; como o fibrocimento é péssimo condutor elétrico, o estudo da sua corrosão só é feito no aspecto químico.

Nos sistemas coletores de esgotos domésticos as condições de velocidade, aeração e temperatura influem grandemente na formação do  $H_2S$ , o qual só poderá atacar o fibrocimento se for oxidado e transformado em  $H_2SO_4$  pela bactéria *Thiobacillus Ccretivorus*.

Observou-se no fibrocimento um processo de auto-proteção que inibe a corrosão com o passar do tempo.

## 1. INTRODUÇÃO

A produção mundial de tubos de fibrocimento sofreu durante os últimos 15 anos um considerável e impressionante aumento. Até o fim dos anos 50 eram produzidos tubos de fibrocimento com diâmetros até de 600 mm; no começo dos anos 60, em alguns países isto se deu mais cedo, em outros mais tarde — o diâmetro máximo desses tubos aumentou para 1.000 mm. Hoje em dia estão sendo produzidos e utilizados tubos de até 2.500 mm de diâmetro interno.

Houve, evidentemente, boas razões para este impressionante desenvolvimento; uma delas foi a de possuírem alta resistência à corrosão e alta durabilidade, frente aos

---

(\*) Palestra proferida no Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S.A. — IPT, em março de 1977.

(\*\*) Doutor em Ciências Técnicas pelo Instituto Federal de Tecnologia de Zurique-Suíça. Consultor da ISO — International Standardization Organization.

mais freqüentes agentes corrosivos atualmente encontrados nas redes de água potável e de esgoto. Após uma rápida introdução geral, nesta conferência iremos tratar principalmente da Resistência à Corrosão de tubos de fibrocimento para redes de esgoto.

## 2. PROCESSOS CORROSIVOS E TUBOS DE FIBROCIMENTO

### — Considerações gerais

Qualquer processo corrosivo é, em princípio, uma reação química ou eletroquímica entre um material em que estamos interessados e substâncias ou elementos pertencentes ao meio circundante. Estas duas reações têm em seu mecanismo algo em comum: tanto na reação química como na eletroquímica, os elétrons são trocados entre os átomos ou radicais reagentes. Na reação química há uma troca de íons entre as substâncias reagentes, formando novas e geralmente indesejáveis substâncias.

Na reação eletroquímica um circuito elétrico, constituído por uma espécie de elemento galvânico incluindo um eletrólito, catodo e anodo, é criado através da troca de cargas elétricas entre os vários íons.

O aparecimento dos dois eletrodos pode ser o resultado de vários fatores, tais como a presença de metais diferentes na rede, uma tubulação de um único metal com diferentes composições metalúrgicas, a presença de diferentes solos ao longo da linha, a existência de esforços diferentes ou ainda variações de temperatura ao longo da tubulação. Entretanto, o requisito essencial para a ocorrência do processo eletroquímico de corrosão é a boa condutividade elétrica, por parte do material que constitui a tubulação. Mas como o fibrocimento não é condutor de eletricidade, este tipo de corrosão é totalmente irrelevante para a nossa abordagem. Quando estudarmos o processo corrosivo em tubos de fibrocimento estaremos, portanto, lidando apenas com a reatividade química desse material, com o fluido transportado e também com o meio envolvente.

Os tubos de fibrocimento podem ser atacados quimicamente, tanto pela água existente no solo que os envolve como também pelo fluido transportado, ou ainda por ambos. Dependendo de onde o ataque ocorre falaremos em corrosão interna ou externa. A corrosão externa, que pode ocorrer em contato com certos

solos e sempre na presença de umidade, irá determinar o desgaste e a vida útil das tubulações. A corrosão interna, por outro lado, poderá não somente determinar o desgaste das tubulações, mas também afetar a qualidade do fluido transportado. Entretanto, como pretendemos tratar apenas de tubos para redes de esgotos, os efeitos na qualidade do fluido não serão levados em conta.

Tubos de fibrocimento são fabricados a partir de finas fibras de amianto e de cimento. O primeiro dá ao material uma alta resistência mecânica, e o segundo se constitui no aglomerante. As fibras de amianto são inertes e não reagem com quaisquer substâncias que possam ocorrer em águas do solo: águas potáveis ou esgotos de origem doméstica ou industrial. A resistência à corrosão desses tubos é basicamente controlada pela resistência química da malha de amianto existente no cimento endurecido do material.

Quando ocorrer a corrosão de um desses tubos, geralmente ela poderá ser identificada por um certo amolecimento do material na superfície atacada do tubo. Em geral esse amolecimento irá penetrar até uma certa profundidade na parede do tubo; somente em condições extremamente raras, a espessura total da parede do tubo será afetada. Este amolecimento na superfície atacada é resultante de algumas reações que ocorrem entre os compostos cálcicos do cimento e o meio agressivo ao cimento. Os produtos desta reação química podem ser tanto insolúveis como solúveis. No primeiro caso os produtos insolúveis irão preencher os vazios entre as fibras entrelaçadas de amianto e aí permanecem; no segundo caso, os produtos solúveis serão dissolvidos e removidos pela corrente líquida, abandonando assim a rede de fibras de amianto.

Quando o produto da reação for insolúvel o processo corrosivo deixará de ser linear: o avanço do ataque químico na parede do tubo não será uma função linear crescente com o tempo. O ataque químico caminha geralmente com velocidade decrescente, isto é, a quantidade do material corroído em sucessivos intervalos iguais de tempo irá gradualmente diminuir. Com o avanço da corrosão as camadas de fibras inertes de amianto densamente entrelaçadas irão se tornando mais espessas, dificultando a deposição e a penetração de novas substâncias, pro-

tegendo assim camadas mais profundas do material e conseqüentemente impedindo o prosseguimento da deterioração. Em outras palavras, se os produtos da corrosão são insolúveis, teremos como resultado do avanço do processo corrosivo a deposição dos mesmos, e a conseqüente formação de uma camada autoprotetora que irá frear este processo.

Este fenômeno de autoproteção dos tubos de fibrocimento contra o avanço da deterioração, que foi observado tanto em laboratório como em experiência de campo, é uma importante característica desse material. Considerando-se que o processo corrosivo avança com taxas decrescentes poder-se-ia perguntar se, após algum tempo, um estado de equilíbrio seria estabelecido. Na literatura especializada não encontraremos uma resposta única para esta pergunta: em alguns casos tal equilíbrio foi observado, quando o processo corrosivo praticamente cessou; porém em outros casos o equilíbrio não se estabeleceu. Isto irá obviamente depender da natureza do agente corrosivo e do produto da reação. Em algumas circunstâncias favoráveis, essa camada autoprotetora poderá impedir completamente o prosseguimento da deterioração.

Quais são as substâncias capazes do ataque aos tubos de fibrocimento? Devido ao fato desses tubos serem feitos basicamente de cimento, todas as substâncias agressivas ao concreto são capazes de atacar esses tubos. Entretanto, é um fato bem aceito e conhecido que, devido à densidade dos materiais finos e à distribuição de seus poros microscópicos esses tubos têm, em geral, uma resistência consideravelmente superior a substâncias que são normalmente prejudiciais aos produtos comuns de cimento (1).

Os tubos de fibrocimento são constituídos aproximadamente de 85% de cimento, contendo assim grandes proporções de cálcio combinadas com silicatos, aluminatos, carbonatos e hidróxidos, assim como pequenas quantidades de carbonatos de magnésio ou hidróxidos de magnésio. Todos estes compostos têm um caráter tipicamente alcalino e por isso, em geral, todos os materiais ácidos ou acidificantes podem ser considerados corrosivos; por outro lado todos os álcalis não afetam o fibrocimento nas condições práticas, isto é, desde que os álcalis não sejam demasiadamente concentrados e não tenham pH 11 ou 12.

Além dos ácidos, tanto a água "mole" como certos sais, principalmente os sulfatos, podem provocar um processo corrosivo nesses tubos. Mas, como iremos tratar apenas desses tubos como coletores de esgotos, não estudaremos os efeitos da água "mole" nem os efeitos do ácido carbônico, que está intimamente ligado com a dureza da água.

Dentre os sais, aqueles que formam soluções aquosas neutras ou alcalinas, via de regra, não afetam o fibrocimento, salvo duas exceções: os sais à base de sulfato e de magnésio. Por exemplo, não há praticamente nenhuma influência do cloreto de sódio sobre esse material (2).

Por outro lado, aqueles sais que formam soluções ácidas afetarão o fibrocimento. Contudo, o processo corrosivo desses sais depende de fatores adicionais. Por exemplo, o cloreto de amônia forma uma solução ácida, e com hidróxido de cálcio produz cloreto de cálcio solúvel. Porém seu efeito sobre o fibrocimento é insignificamente pequeno, devido à ação inibitória da amônia (4).

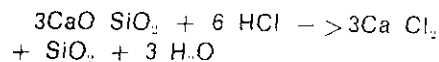
O ataque de soluções de sulfato sobre o cimento resulta, na maior parte, na formação de sulfo-aluminato de cálcio, que é idêntico à etringita, mineral existente na natureza. O último, quando formado, tem um volume de 3,04 contra 1,0 de substâncias reagentes, causando dessa forma expansão e desagregação da cadeia de cimento. Na técnica do cimento o sulfo-aluminato de cálcio ( $3 \text{CaO} - \text{Al}_2\text{O}_3 - 3\text{CaSO}_4 \cdot 32 \text{H}_2\text{O}$ ) é freqüentemente chamado como o "bacilo do cimento", bacilo por causa do "crescimento" do mineral.

O efeito das soluções de sulfato no cimento depende da composição deste último, do tipo do sulfato, e do estado físico do produto de cimento exposto: sua densidade e permeabilidade (5). É provavelmente graças a esses dois últimos fatores, bem como à resistência desse material e sua estrutura laminar, que, em meio de sulfato, agressivo, as amostras de fibrocimento são muito mais estáveis que as amostras de argamasas de cimento (1).

Todos os ácidos atacam produtos de cimento, inclusive fibrocimento, mas a velocidade de ataque é fortemente influenciada pela concentração do ácido, sua força, e as características do produto final, isto é, sua solubilidade em água. Compare-se, por exemplo, o efeito de dois ácidos igualmente fortes — o clorídrico

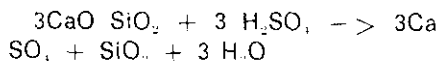
(HCl) e o sulfúrico ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) no principal componente do cimento Portland (silicato tricálcico  $3\text{CaOSiO}_2$ ).

**No primeiro caso:**



a reação produz cloreto de cálcio  $\text{CaCl}_2$ , altamente solúvel, que é removido do material pela água.

**No segundo caso:**



o produto é o sulfato de cálcio ( $\text{CaSO}_4$ ), pouco solúvel, o qual se precipita sobre a superfície e nos poros do fibrocimento, bloqueando-o e inibindo posterior ataque.

O ácido clorídrico raramente é encontrado em tubulação, exceto em certos despejos industriais. O ácido inorgânico de maior ocorrência em tubos coletores de esgotos é o ácido sulfúrico, sendo este nosso principal assunto.

### 3. CORROSÃO INTERNA DE TUBOS DE FIBROCIMENTO EM COLETORES DE ESGOTO

O sistema coletor de esgotos domésticos que funciona por gravidade pode estar sujeito ao ataque do sulfeto de hidrogênio ( $\text{H}_2\text{S}$ ) quando encontra condições favoráveis para sua formação. A formação do  $\text{H}_2\text{S}$  ocorre em limos biologicamente ativos que se desenvolvem na seção imersa dos tubos, sendo desprendido no escoamento do fluido. A formação de  $\text{H}_2\text{S}$  é favorecida por temperaturas elevadas, por alta acidez ou alta Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), pela presença de sulfatos e pela remoção do oxigênio dissolvido do fluido causado por uma longa retenção, pela baixa velocidade de escoamento, ou pela passagem na tubulação principal onde não há livre acesso de ar (6).

A corrosão devida ao  $\text{H}_2\text{S}$  em tubos coletores de esgoto ocorre somente acima do nível da água (7), mas na maior parte dos sistemas de esgotos a produção de sulfeto de hidrogênio é desprezível e somente onde as condições são próximas das acima mencionadas é que a proliferação é rápida (6).

O sulfeto de hidrogênio desprendido do esgoto por si só não afeta o

material de cimento onde o mesmo ocorre. O  $\text{H}_2\text{S}$  freqüentemente formado sob pressão no tubo principal não o afeta (6).

A corrosão ocorrerá quando o  $\text{H}_2\text{S}$ , sendo desprendido da tubulação para o ar, é por ele oxidado e convertido em ácido sulfúrico pela bactéria conhecida sob o nome de *Thiobacillus Concretivorus*, (6), (7), (8). Assim produzido, o ácido sulfúrico diminui o pH e ataca as paredes do tubo pela reação com a cal e o silicato de cálcio do cimento.

O  $\text{H}_2\text{S}$ , via ataque pelo ácido sulfúrico, atinge tanto tubos de concreto quando tubos de fibrocimento, porém não com a mesma intensidade. Quanto a este respeito comparamos a resistência de tubos de fibrocimento com os tubos de concreto, verificou-se que nos primeiros a resistência à corrosão foi consideravelmente maior que a do tubo de concreto normal (7), de acordo com Stutterheim e van Aardt do Centro de Pesquisa Científica e Industrial, de Pretória, África do Sul. E de acordo com Parker, da Austrália: "Tem sido demonstrado que, sob condições deliberadamente induzidas de alta agressividade, a velocidade do ataque do sulfeto de hidrogênio nos tubos de fibrocimento é significativamente menor que em tubos de concreto".

A resistência residual dos tubos de fibrocimento é comparável com a de um tubo sem uso, ao passo que um tubo de concreto, utilizado nas mesmas condições, sofre uma perda na resistência de 30% (6).

O ácido sulfúrico é um ácido e ao mesmo tempo um sulfeto. Portanto, ocorrerão os dois processos: um processo devido aos sulfetos que levará à formação de etringita, isto é, aparecerá um inchamento e um fendilhamento, e o outro processo devido ao ácido que levará à formação e precipitação de sulfato de cálcio.

De fato, as experiências de campo demonstraram que o ácido sulfúrico age somente como um ácido. (4) A camada corroída constituída de sulfato de cálcio adere firmemente à parte sã do fibrocimento, garantindo assim uma barreira parcial ao ácido fresco (4).

Há vários métodos de se evitar o ataque do  $\text{H}_2\text{S}$  sobre os tubos de esgotos domésticos — por gravidade, restringindo e controlando sua formação: isto é, criando-se condições nas quais não haja formação do  $\text{H}_2\text{S}$ , e se isto ocorrer, em pequenas quantidades.

O primeiro e mais eficiente método na prevenção de elementos sépticos na tubulação está na forma correta de se projetar o esgoto.

Isto pode ser conseguido fixando-se a velocidade do fluido no mínimo entre 0,85 e 1,0 m/s em países quentes (8). Altas velocidades trazem dois benefícios: um tempo de retenção menor e uma freqüente depuração e eliminação de líquidos viscosos e agressivos da tubulação. Para se conseguir altas velocidades são necessárias diferenças de cotas elevadas, mas nunca deveremos tentar superdimensionar os diâmetros da tubulação.

O segundo método baseia-se no fato de que a formação de sulfeto de hidrogênio se inicia nos limos quando todo o oxigênio dissolvido no esgoto foi consumido pelas bactérias aeróbias purificadoras (8). Portanto, deveremos sempre permitir e favorecer a presença de suficiente oxigênio no esgoto. Enquanto o esgoto está fresco uma turbulência proposital por certos processos de alta velocidade, fechamentos, etc., pode ser bastante benéfica. Entretanto, uma vez que o esgoto já se tornou séptico deveremos evitar turbulência para diminuirmos o rápido desprendimento dos gases  $H_2S$  (9). Em alguns lugares o oxigênio é injetado na tubulação, mas isto requer uma manutenção adequada e regular da maquinaria empregada. Por outro lado, injeções de oxigênio não irão solucionar o problema se o esgoto já estiver séptico quando entrar na tubulação (8).

Nos casos em que a septicidade não puder ser evitada, o grau de corrosão dos tubos de esgoto pode ser diminuído, instalando-se em locais convenientes saídas de ar que permitiriam a saída do sulfeto de hidrogênio para a atmosfera, antes que a formação do ácido se alastre (8). Como este gás é tóxico e de cheiro muito desagradável, as saídas de ar não poderão se situar em áreas residenciais e em lugares com ventilação insuficiente para dissipá-lo rapidamente.

Para resumir o problema do sulfeto de hidrogênio, a indústria recomenda que os tubos de fibrocimento sem proteção sejam utilizados para esgotos em temperaturas nunca superiores a 25% e somente em boas condições de aeração, isto se o  $H_2S$  contido no esgoto não exceder a 30 ppm. Para concentrações maiores os tubos deverão estar devidamente protegidos (10).

Além do sulfeto de hidrogênio e de outros ácidos inorgânicos com os quais estamos lidando, há também vários compostos químicos orgânicos nos esgotos, tanto doméstico como industrial, que, alguns deles, poderão prejudicar a tubulação de fibrocimento.

Em geral o ataque sobre o fibrocimento, de substâncias orgânicas até mesmo ácidos, é mais fraco do que no caso de ácidos inorgânicos ou sulfetos. Os ácidos láctico, acético e tartárico podem prejudicar os tubos desse material. O ácido láctico, por exemplo, pode reagir com a cal livre do cimento, formando um lactato de cálcio solúvel:  $Ca(OH)_2 + 2 (CH_3-CH_2-OH-COOH) + 3H_2O \rightarrow Ca (C_2H_3O_2)_2 + 5 H_2O$ .

O ácido láctico é bem forte: num esgoto foram observados diariamente valores de pH entre 4,5 e 4,3 (3). Entretanto, os efeitos deste esgoto sobre os tubos de fibrocimento foram bastante fracos: após 6 anos 1 mm da espessura da parede foi amolecido na parte interna do tubo e o resto da parede estava inatacado (3). Derivados do petróleo, óleos e graxas não prejudicam o fibrocimento. Por outro lado gorduras animais e vegetais podem amolecer a superfície dos tubos feitos com esse material, desde que essas gorduras tenham uma concentração superior a 300 ppm, pois elas reagirão com a cal livre, formando assim um sabão cálcico insolúvel. Os ésteres causam um efeito similar, e os solventes apolares e os álcoois voláteis não afetam os tubos de fibrocimento (3).

Os compostos orgânicos polares tais como o glicol, glicerina, os fenóis e os açúcares, poderão eventualmente reagir com a cal do fibrocimento. Os sabões de uso doméstico poderão também reagir com a cal, mas este fato só terá importância com concentrações muito elevadas. Até mesmo com 5% de concentração, o oleato de potássio só provocará um amolecimento muito fraco da superfície (3).

Exatamente da mesma maneira que no caso do sulfeto de hidrogênio a taxa de corrosão por estes vários compostos orgânicos vai depender do tempo em que eles ficarão retidos no sistema de esgoto; isto é, tanto dependerá da velocidade e da diferença de cota no escoamento e principalmente das concentrações dos compostos no esgoto.

Tubulações de fibrocimento para esgoto doméstico hidráulicamente

bem projetadas, usualmente ou não precisam de proteção ou necessitam apenas de uma simples e barata película betuminosa, obtida pelo mergulho do tubo em uma solução betuminosa. Existe grande número de tubos desse material que atendem a esta solicitação (3) e (4). Por outro lado, quando o projeto é modificado pela diminuição do número de ligações domiciliares e o fluxo é menor que o do projeto ou quando produtos químicos industriais de alta agressividade podem atingir o tubo, este deve ser protegido.

#### 4. PROTEÇÃO DE TUBOS PARA ESGOTO DE FIBROCIMENTO

O uso do cimento resistente ao sulfato na fabricação de tubos, ou sua cura em altas pressões de vapor (autoclavados) são alguns dos meios para produção de tubos resistentes ao ataque do sulfato. Entretanto, deve-se ter em mente que nem o cimento resistente ao sulfato nem o cimento autoclavado representam uma proteção completa.

Teoricamente o tratamento do tubo com materiais que retêm a cal livre e formam produtos insolúveis, bloqueando seus poros, deverá aumentar a sua resistência à corrosão. Entretanto, na prática o efeito desse tratamento está abaixo da expectativa, principalmente porque a alta densidade dos materiais impede a penetração do tratamento, além de uma camada de aproximadamente 1 mm de espessura.

As mais antigas e ainda freqüentes aplicações de materiais para pintura de tubos de fibrocimento são os asfaltos e alcatrões, ambos muito eficientes na maioria dos casos. O revestimento de tubos com asfalto pode proporcionar uma conveniente e longa durabilidade em condições sépticas; (não em condições extremamente corrosivas).

Há muitos exemplos desses tubos para esgoto doméstico, revestidos por imersão em asfalto, que estão funcionando por períodos de mais de 20 anos com insignificantes indícios de corrosão interna, indicando que os tubos podem ser utilizados por 50 anos ou mais.

Nas mais desfavoráveis condições de esgoto doméstico, altamente agressivo, o alcatrão-epoxi é às vezes recomendado com uma camada na qual a relação alcatrão/epoxi varia de 2:1 para 1:1 e os constituintes inertes de 0 a 50% do material

protetor, ambas as relações em peso (9).

Os solventes serão adicionados de acordo com as recomendações do fornecedor, para se obter a trabalhabilidade e a espessura de revestimentos desejados.

Entretanto, é comum serem usados epoxis sem solventes, pois o solvente costuma se destacar entre as camadas do revestimento de grossa espessura, provocando assim o aparecimento de cavidades e prejudicando a adesão entre as camadas (9).

Camadas de aproximadamente 300 microns de espessura são geralmente recomendadas para sistemas de esgotos feitos com esses tubos, trabalhando em condições altamente corrosivas.

Resíduos industriais agressivos ao cimento podem às vezes exigir um revestimento de epoxi puro, que é perfeitamente resistente a uma grande variedade de substâncias químicas, adere firmemente ao fibrocimento, tem uma resistência à abrasão adequada e que não será prejudicada pela imersão permanente em água.

Revestimentos tais como o epoxi com alcatrão e o epoxi puro deverão ser aplicados sobre os tubos na própria fábrica, quando isto se fizer necessário. Ambos os revestimentos irão proteger perfeitamente os tubos, desde que eles tenham sido aplicados corretamente, isto é, sobre uma superfície livre de poeiras e sujeiras, desde que o material empregado tenha sido convenientemente testado e satisfeito às especificações na hora da entrega.

Após termos tratado destes últimos "sotificados" e geralmente caros revestimentos, queremos enfatizar, novamente, que muito freqüentemente tubos de fibrocimento sem revestimentos poderão ser utilizados para escoar esgotos e que, em "condições normais de corrosão", um simples revestimento de asfalto ou alcatrão poderá assegurar ao sistema grande segurança e durabilidade.

## 5. BIBLIOGRAFIA

- (1) Gracheva, O.J., Sergeeva, V.I.: Evaluation of the Comparative Stability of Asbestos-Cement and Cement — Mortar in Liquid Aggressive Media (Translated from Russian into English by Astex Publishing Co.)
- (2) Schlaepfer, P.: Verhalten von Eternit-Rohren gegenüber verschiedenen chemischen Agenzien; EMPA Bericht No. 94, Zurich, May 1935.

- (3) Bar-Shlomo, S.: Durability of Asbestos-Cement Pipes, Israel Institute of Technology, Haifa, August 1964 (in Hebrew).
- (4) Everite Idd.: Asbestos-Cement Sewer Pipes; Paper presented at the Symposium on Sewerage and Drainage, Bloemfontein, South Africa 24-10-74.
- (5) Van Aardt, J.H.P.: Deterioration of Cement Products in Aggressive Media; 4th Intern. Symp. on the Chemistry of Cement; Paper VI-SI, Washington D.C., 1960.
- (6) Parker, C.D.: Comparison of the Chemical and Microbiological Durability of Asbestos-Cement and Concrete Sewer Pipes Under a Variety of Corrosive Conditions; Water Science Laboratories, Carlton, Victoria (Austrália), April 1969.
- (7) Stutterheim, N., van Aardt, J.H.P.: Corrosion of Concrete Sewers and Some Possible Remedies; S.A. Industrial Chemist, Vol. 7, Nr. 10, C.S.I.R., Pretoria, Nov. 1953.
- (8) Appleton, B.: Acid test for Middle East drain brains; New Civil Engineer, 19-02-1976.
- (9) Day, K.J., Banks, P.A.: The Protection of Sewerage Systems from Internal Corrosion by Epoxy Coating; 1st Intern. Conf. on the Internal and External Protection of Pipe; 9-11 Sept. 1975, University of Durham, England.
- (10) Eternit AG: Rohrschutz-Richtlinien fuer Eternit-Rohre; Berlin, 28-08-1971.

## 6. DEBATE APÓS A CONFERÊNCIA

### Eng.º Pérsio de Souza Santos (IPT)

Usando o exemplo de países similares (por ex.: África do Sul), poderia o senhor dizer se coletores de esgotos sanitários de fibrocimento teriam um período de vida média de aproximadamente 50 anos?

### Resposta

Se a rede de esgoto foi corretamente projetada, ou seja, se o diâmetro e a declividade da linha assegurar uma velocidade mínima de escoamento nunca abaixo de aproximadamente 0,8 m/s em regiões de clima quente, a resposta é indubitavelmente positiva.

Com referência à África do Sul, podemos mencionar vários exemplos de coletores de esgotos de fibrocimento, alguns sem revestimento, outros protegidos pelo revestimento mais barato, isto é, imersão em betume, que confirmam nossa afirmação acima. Assim é que em Windhoek, na África do Sudoeste, tubos sem proteção, com diâmetro entre 450 e 900 mm, transportam esgoto em alta velocidade e permaneceram inatacados. Contudo, a rede acima é ligada a outra rede coletora de fibrocimento nas vizinhanças do município de Bantu, e esse esgoto carrega

grande quantidade de material orgânico, sendo absolutamente séptico. A jusante do ponto onde as tubulações se juntam, ela foi examinada após nove anos e meio de operação e a profundidade da penetração do ataque observada era perto de 2 mm, ou seja, aproximadamente 0,2 mm por ano.

Admitindo uma taxa constante de ataque a favor da segurança, seriam necessários no mínimo cinquenta e cinco anos para corroer a parede do tubo até uma espessura de 6,35 mm de material ileso, necessário para suportar a carga sobre o tubo.

Por outro lado, em Port Elizabeth uma rede de tubos de fibrocimento, revestidos por imersão em betume, transportou por gravidade esgoto doméstico durante 19 anos. Depois desse período foi examinada uma extensão e verificado ter sido atacada até a profundidade máxima de 1,9 mm, sob suaves condições de corrosão. Foi estimado que, mantida essa taxa de corrosão, o tubo duraria mais 79 anos, isto é, um total de cerca de um século antes que a parede ileso do tubo fosse reduzida para a espessura de 6,35 mm.

Estes foram apenas dois dos muitos exemplos que poderíamos citar da África do Sul e de outras regiões.

### Eng.º Manuel Senra (SABESP)

1. Qual a porcentagem de tubos de fibrocimento, em comparação com outros materiais, usados nas redes de esgotos, em outros países (Israel, França, Alemanha)?

2. Qual a profundidade mínima de assentamento de tubos de fibrocimento?

### Resposta

1. Eu desejaria saber se estou suficientemente bem informado em vendas de coletores de fibrocimento para lhe fornecer uma visão exata das porcentagens de uso desses tubos no mercado de diferentes países. Entretanto, pode-se ter alguma idéia pelo que segue:

Em Israel, por exemplo, da produção total desses tubos, aproximadamente 40% é comercializada para coletores de esgoto, concorrendo somente com tubos coletores de concreto. Apesar do fato dos tubos de concreto serem consideravelmente mais baratos, os tubos de fibrocimento compartilham aproximadamente com 60% do mercado local.

Na Alemanha, com uma grande produção desses tubos, ultrapassan-

do provavelmente 2 milhões de toneladas anuais, a proporção de tubos de esgoto vendida é também de 40% aproximadamente.

A França conseguiu uma produção de tubos de fibrocimento aproximadamente da mesma magnitude que a Alemanha. A França é reconhecida como um país produtor desse material, no qual grande parte de suas redes coletoras são feitas com esses tubos. Poderia estimar que 60% do total da produção de tubos de fibrocimento nesse país é usada em esgotos.

2. A tubulação de esgotos pode ser protegida a fim de resistir a cargas externas devidas a aterros e tráfego, para quaisquer profundidades que possam ocorrer na prática. Não há limite prático para as profundidades máximas ou mínimas a serem adotadas no projeto de redes.

Se, por exemplo, a rede de fibrocimento foi instalada para irrigação agrícola, a profundidade mínima pode ser algo como a altura de um disco de arado. Nos países nórdicos onde a água pode se congelar no inverno, a profundidade mínima deve ser 1,5 m ou mais, dependendo das condições climáticas.

Contudo, tubos de fibrocimento são às vezes instalados a cerca de 20 ou 30 cm abaixo da superfície; nós recomendaríamos que seja de uns 60 cm a cobertura mínima, salientando todavia o fato de que qualquer recobrimento poderia ser aceito desde que o berço do tubo seja devidamente projetado.

#### **Eng.º Ruben Duffles Andrade (Consultor)**

Pomeroy não recomenda pinturas de proteção nem barreiras antiácidas dada a possibilidade de formação de "pin-holes", onde o ácido sulfúrico pode agir em altas concentrações atacando severamente o tubo.

Qual a opinião do Dr. Bar-Shlomo sobre esta questão?

#### **Resposta**

É verdade que ocorrendo essas perfurações no revestimento a corrosão é concentrada nesses pontos e avança através dos furos mais rapidamente do que se toda a superfície do tubo estivesse exposta.

Não é exato, contudo, admitir que essas finas perfurações possam sempre ocorrer; elas resultam de um controle de qualidade inadequado no revestimento e não significa de maneira alguma que sejam inerentes, ou

fenômeno inevitável em qualquer proteção.

Quando a superfície a ser protegida é bem preparada, limpa e removido todo o pó, quando o "primer" apropriado é bem aplicado a esta superfície, e quando o revestimento bem escolhido é corretamente aplicado, o perigo das perfurações pode ser seguramente suprimido.

#### **Eng.ª Maria Alba Cincotto (IPT)**

1. Poderia, por favor, dizer-nos algo sobre o uso de cimentos especiais como o pozzolânico ou o cimento de alto forno?

2. Na opinião de van Aardt e Gracheva, tubos de fibrocimento resistem melhor ao ataque do ácido sulfúrico que os tubos de concreto convencional. Como pode ser explicado este fato?

#### **Respostas**

1. O fibrocimento é um produto de cimento com uma alta proporção de cimento na composição: de 85 a 90% do material é constituído de cimento. Em consequência, tanto o processo de produção quanto as propriedades do material estão fortemente relacionados à qualidade do cimento usado.

Que eu saiba, não há uma experiência muito grande na fabricação de fibrocimento com cimento pozzolânico. Sabemos, entretanto, que a fim de se conseguir um ligante de cimento mais barato, se a pozzolana for adicionada ao cimento Portland usual a resistência do ligante é significativamente reduzida, até mesmo se a adição de pozzolana não for maior do que aproximadamente 10%.

Há mais experiência com cimento de alto forno na produção de fibrocimento. Apesar da melhor resistência desse cimento aos sulfatos que o Portland, essa composição resulta em baixas densidades do material, alta absorção d'água, e redução da resistência mecânica nos primeiros meses após fabricação. Mais ainda, o cimento de alto forno cria dificuldades no processo normal de produção de fibrocimento e sua "trabalhabilidade" é consideravelmente menor que a do cimento Portland normal.

2. Naquela parte da minha exposição, na qual falei de um modo geral sobre a corrosão, já sugeri por que os produtos de fibrocimento são mais resistentes à corrosão que os produtos usuais de cimento.

A principal razão é a densidade do material e o tamanho de seus poros.

O fibrocimento é produzido com ingredientes muito finos, partículas

de cimento, fibras extremamente delgadas de amianto, e com a relação água-cimento mais baixa possível, quando o produto deixa a máquina (cerca de 0,25 a 0,30). Conseqüentemente os poros no material são de tamanho submicroscópicos e isso, como é bem conhecido, inibe o avanço da corrosão.

Completamente, as fibras de amianto são inteiramente inertes e não são praticamente afetadas por qualquer produto químico. Quando o cimento é atacado fica no local uma densa camada de tecido de fibras de asbesto entrelaçadas, e isto preenchido com os produtos do ataque ao cimento inibe a continuação do processo de corrosão.

#### **Eng.º Eduardo Ioshimoto (IPT)**

O Sr. tem algum conhecimento sobre impregnação de fibrocimento com monômeros posteriormente polimerizados?

#### **Resposta**

O assunto é muito bem conhecido para ambos: concreto e fibrocimento.

Uma pesquisa extensiva sobre a matéria foi conduzida alguns anos atrás na Europa, incluindo uma instalação piloto de aplicação desse método de impregnação de produtos fibrocimento.

É um método muito caro de impregnação e até aqui tem sido aplicado mais propriamente em base experimental para algumas conexões.

No que concerne a tubos de fibrocimento para esgotos, parece que tal impregnação, embora teoricamente possível, não poderia ser economicamente justificada.

#### **Eng.º Gershon Tajchman (CETESB)**

Qual é a máxima concentração de cloro dissolvido n'água que não danificará tubos de fibrocimento?

#### **Resposta**

Cloro, se puro ou hidratado, não afeta nunca o fibrocimento.

O cloro empregado na desinfecção d'água é usado em quantidades muito pequenas: desde 0,1 ppm em águas límpidas até 1,0 ppm ou pouco mais em águas turvas.

Quando o cloro reage com a água produzindo ácido hipoclorídrico a concentração desse último em água clorada é tão desprezivelmente pequena que não ocorre efeito ácido sobre tubos desprotegidos de fibrocimento.