

ESTUDO DE PATOLOGIAS EM ESTRUTURAS

Leandro Filgueiras⁽¹⁾

Gerente Técnico, Construtora Gmaia

Larissa Xavier⁽²⁾

Auxiliar de Gerência Técnica, Construtora Gmaia

1 linha em branco, fonte Times New Roman, corpo 10

Endereço⁽¹⁾: Rua Olympio Teixeira Guimarães, 60 - Estoril – Belo Horizonte - MG - CEP: 30494380 - Brasil
- e-mail: leandro.filgueiras@gmaia.com.br.

RESUMO

Este artigo tem por finalidade identificar os aspectos relacionados à deterioração das estruturas de saneamento, considerando Estações de Tratamento de Água (ETA), Estações de Tratamento de Esgoto (ETE) e elementos correlacionados. Estas estruturas estão sujeitas à alta agressividade do meio que estão inseridas, sofrendo ataques permanentes relacionados à abrasão, produtos químicos, pH e presença de gases diversos gerados pela interação do próprio sistema. A ação desses agentes em contato direto com as estruturas das estações e tubulações, combinado aos ciclos de molhagem e secagem, tem o potencial para desenvolver diversas patologias.

Dentre os problemas há, por exemplo, fissuras, infiltração, desagregação do concreto, corrosão das armaduras, desintegração do concreto por presença de sulfatos, expansão, dentre outros. Assim, para garantir o desempenho esperado do sistema de saneamento durante sua vida útil, faz-se necessária a adoção de um conjunto de procedimentos nas etapas de concepção, execução, utilização e manutenção com o intuito de garantir a durabilidade e estanqueidade estrutural.

PALAVRAS-CHAVE: patologias, deterioração, saneamento, corrosão.

INTRODUÇÃO

O sistema de saneamento básico que atende os municípios brasileiros é composto, de maneira geral, por tubulações coletoras, estações elevatórias e de recalque, além de estações de tratamento de água (ETA's) e esgoto (ETE's). O ambiente dessas estruturas é classificado como um dos mais agressivos para os materiais que a constituem, não somente pela agressividade do meio, mas também por processos construtivos incorretos nas fases iniciais do projeto, com inobservâncias de prerrogativas normativas e execução sem controle de qualidade adequado.

A exposição do concreto à ação de esgoto sanitário em uma estação de tratamento de esgoto (ETE) de digestão anaeróbica, configura um ambiente de alta agressividade. O microclima formado contém considerável concentração de ácido sulfúrico biogênico (H_2SO_4) responsável pela degradação da estrutura. Apesar do ambiente das ETE's já ser conhecido, a diversidade de identificação dos processos de degradação e os compostos formados são primordiais para dar suporte e meios de intervir nos danos causados, seja no caso de novas estruturas a serem projetadas, seja no caso da necessidade de manutenção e recuperação das estruturas já existentes e em funcionamento.

Sobre os tipos de patologias, segundo Cánovas (1988), patologia é a parte da engenharia que estuda os mecanismos, os sintomas, as causas e origens dos defeitos das obras. Em certos casos, há possibilidade de um diagnóstico apenas por meio da visualização. No entanto, há casos mais complexos, sendo necessário uma investigação do projeto e das cargas a que foi submetida a estrutura, analisar detalhadamente a forma como foi executada a obra e, inclusive, como esta patologia reage diante de determinados estímulos.

Para aumentar as chances de acerto na escolha dos sistemas de proteção e reparo é importante entender como funcionam os mecanismos de degradação preponderantes ao concreto e ao aço. Por isso, será feita uma breve descrição dos processos relacionados às patologias mais comuns no meio do saneamento.

PREPODERANTES DE CONCRETO

Lixiviação: Este mecanismo de degradação acontece principalmente em lajes de teto dos reservatórios, em trincas e juntas de concretagem. Ocorre, por ação das águas puras, carbônicas, agressivas e ácidas que dissolvem e carregam os compostos hidratados da pasta de cimento. Acontece, nas lajes, tanto pela falta de impermeabilização da face superior, quanto pela condensação da água do próprio reservatório na face inferior.



Pode provocar o desenvolvimento de fungos e bactérias. Como consequência nota-se a redução do pH do extrato aquoso dos poros do concreto com risco de despassivação da armadura.

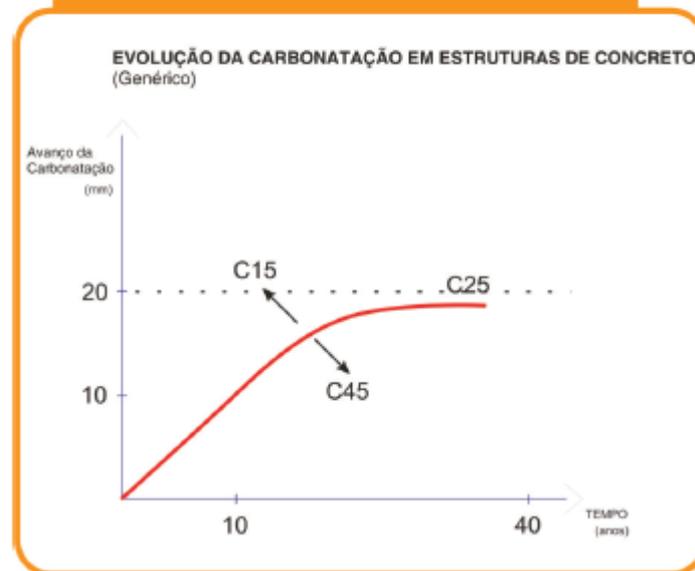
Expansão por ataque de sulfetos: Este processo de degradação é recorrente em ETE's e tubulações de esgoto feitas em concreto. A expansão é a degradação provocada por compostos de enxofre presentes no esgoto residencial, que atacam tanto a matriz hidratada do cimento, em um primeiro momento, quanto às armaduras após a perda do revestimento protetor. A corrosão do concreto acontece, principalmente, pela formação de sulfato de cálcio, que provoca uma série de reações onde o produto final da reação tem volume de até mil vezes o volume inicial, provocando assim a fissuração e a degradação do concreto de revestimento, em contato direto com o meio, expondo as armaduras aos agentes agressivos.

Preponderantes à armadura:

Despassivação por carbonatação: Ocorre em todo tipo de estrutura de concreto, se agravando nas áreas industriais e grandes centros urbanos devido a geração de CO₂. Durante a hidratação do concreto, o hidróxido de cálcio CA(OH)₂ é produzido. Este, juntamente com a pasta de cimento, gera uma solução aquosa de pH aproximadamente 13. Esta solução extremamente alcalina cria uma camada passiva em torno da armadura, que previne sua corrosão, mesmo que estes sejam expostos ao oxigênio e à umidade (no entanto não previne se exposto a cloretos). O dióxido de carbono CO₂ do ar, juntamente,

É importante lembrar que a carbonatação é um processo de deterioração, que ataca as armaduras, porém para o concreto, este é um processo de aumento da densidade e resistência. Este é o motivo pelo qual se busca o aumento das coberturas de revestimento das armaduras, pois com revestimentos maiores, a frente de carbonatação se estabilizaria antes de atingir a camada de passivação das armaduras (gráfico 1).

Gráfico 1 – Gráfico ilustrativo da linha de avanço da carbonatação em relação ao tempo e à resistência do concreto



Despassivação por elevado teor de Íon Cloro (Cloreto): penetração do cloreto através dos poros do concreto ou trincas, por difusão, impregnação ou absorção capilar que, ao superarem um certo limite de concentração em relação à concentração de hidroxilas nos poros do concreto, despassivam a superfície do aço, instalando a corrosão. Eventualmente os cloretos podem ser introduzidos no concreto em seu amassamento, através de excesso de aditivos endurecedores ou juntamente com os agregados do concreto.

Despassivação por ataque ácido: Em ambientes com alto teor de sulfetos, após a expansão do concreto e a perda do revestimento protetor das armaduras, acontece a corrosão das mesmas pela ação das bactérias e do ácido sulfúrico.

Vazamento em ETA: Preocupação constante nas estruturas em contato com água, mas não menos recorrentes, são os vazamentos que vêm sendo combatidos com todo o esforço, no intuito de reduzirem as perdas de água tratada e os danos causados pelos mesmos à estrutura, através do processo de degradação por lixiviação. Os

vazamentos nas estruturas ocorrem, principalmente, através de juntas de dilatação, trincas, juntas de concretagem e brocas.

Já nas estruturas das ETE's (estação de tratamento de esgoto) os problemas mais frequentes, apesar do pequeno tempo de uso deste tipo de estrutura no Brasil, são decorrentes dos gases formados pelo esgoto doméstico.

Cobrimento das armaduras: As normas atuais para concreto armado têm recomendado acertadamente, um maior recobrimento de proteção das armaduras (35 a 45mm) e um aumento da resistência dos concretos (35 a 40 MPA) nos meios de agressividade forte ou muito forte, no intuito de se garantir uma maior durabilidade das estruturas, pois um concreto com maior resistência apresenta uma maior compacidade e por conseqüência, maior impermeabilidade, o que protege as armaduras do ataque de agentes agressivos. Um maior recobrimento é indicado para garantir uma maior espessura de proteção para que, mesmo à longo prazo, os mecanismos de agressividade se estabilizem, assim como vimos no gráfico acima relativo à carbonatação.

Figuras 2 e 3 - Exemplos de estruturas de concreto armado, utilizadas no saneamento (esquerda RAFA em ETE e direita Reservatório) com vazamentos através de juntas de concretagem, pontos de tirante de formas e trincas



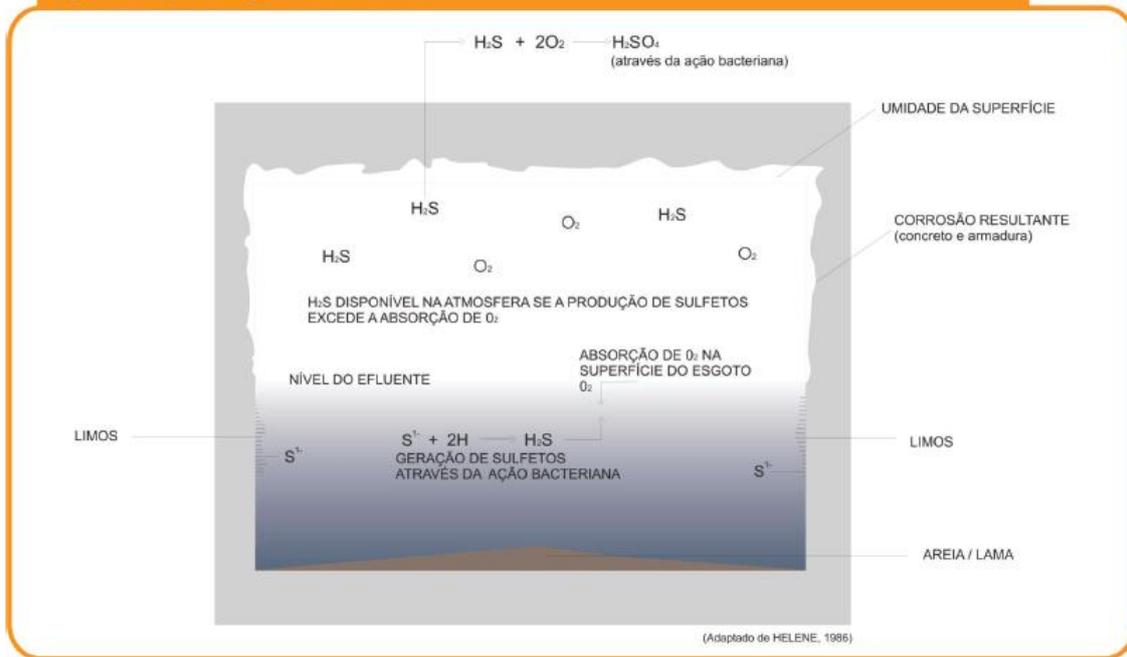
Portanto, é sempre necessário considerar tratamentos específicos para trincas, brocas e juntas de concretagem, caso não seja especificada uma proteção geral à estrutura. É ainda importante colocar que fissuras por ação de cargas, independente dos cuidados de concretagem e cura, vão ocorrer em concretos com altas resistências, módulo de elasticidade e aços de elevada resistência como CA50 e CA60.

AÇÃO DE AGENTES BIOQUÍMICOS EM ESTRUTURAS DE SANEAMENTO

O ataque ácido e a carbonatação são fatores iniciais de degradação das estruturas por ácido sulfúrico biogênico, já que reduzem o pH da solução aquosa dos poros para que ocorra a colonização de bactérias oxidantes (Mori et al., 1992; Estokova et al., 2012 apud Hoppe et al., 2014). Segundo Hoppe et al (2014), a contínua dissolução de sulfeto de hidrogênio entre os poros do concreto – que se encontram acima no nível do efluente, em $\text{pH} \leq 3,0$ - incita a formação de enxofre elementar, que é oxidado à sulfato graças a atividade microbiana.

O microclima formado acima do nível do esgoto se caracteriza pela presença de anidrido carbônico, sulfeto de hidrogênio e oxigênio, componentes preponderantes para a atividade microbiana, além da água e de nutrientes. A maior disponibilidade destes últimos ocorre na região logo acima no nível do efluente, já que nesta há a influência da zona de respingos, a flutuação da carga de esgoto (imersão periódica) e a ação capilar da água. Assim sendo, os poros do concreto localizados imediatamente acima do nível do efluente propiciam condições adequadas para a ação das bactérias, já que disponibilizam água e nutrientes, além de apresentar maior pH em virtude da redução da concentração de ácido em solução pela ação da água do esgoto. Portanto, a degradação do concreto na região adjacente ao nível do efluente é mais acentuada que as demais regiões e desprezível na região submersa (Mori et al., 1992). Na figura 1 abaixo é possível visualizar o comportamento bioquímico que induz a deterioração do concreto.

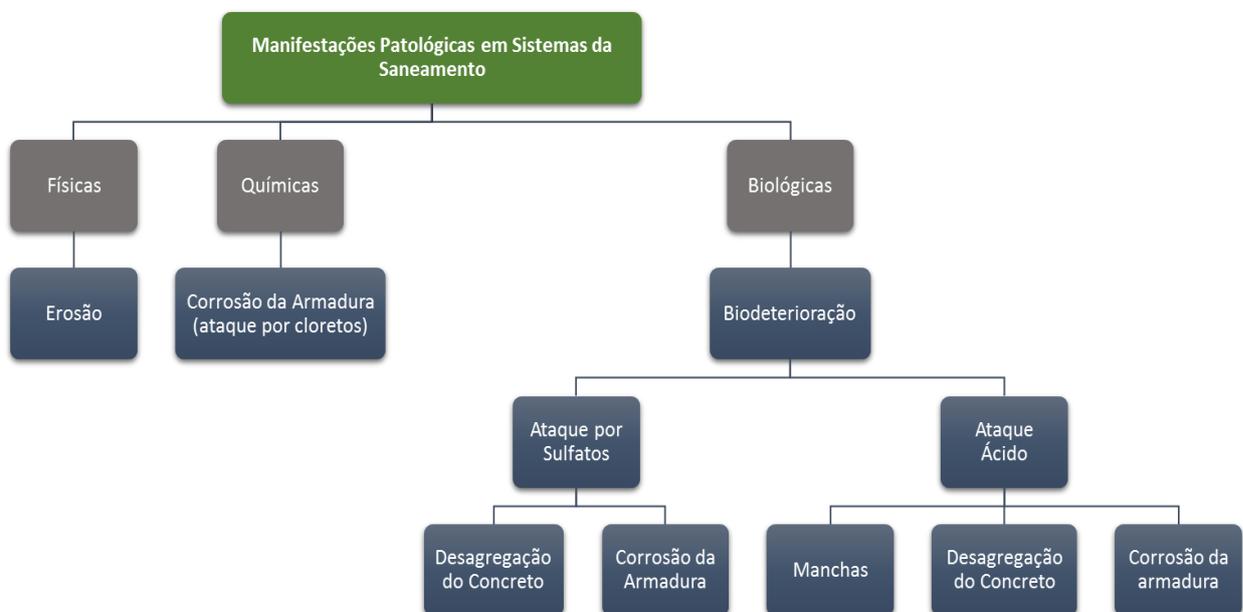
Figura 1 – Processo de degradação de estruturas em contato com gases gerados por esgoto doméstico



PATOLOGIAS EM ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ESGOTO (ETE'S)

A ocorrência dessas patologias possui origem diversa, fato que incide no aparecimento de diferentes sintomas e mecanismos de deterioração. Para melhor exploração dos problemas que ocorrem nas estruturas, há a seguir, na figura 2, as ocorrências que incidem de maneira frequente, conforme a literatura.

Figura 2 - Manifestações Patológicas Típicas de Estações de Tratamento de Esgotos



Fonte: Autores



Erosão: Considera-se erosão como a passagem de líquido contendo partículas sólidas em suspensão, ocasionando o desgaste superficial do concreto e a remoção da pasta superficial de cimento, o carreamento do agregado miúdo e a exposição do agregado graúdo (BERTOLINE, 2006; MEHTA; MONTEIRO, 2008; SANTOS; 2012).

Corrosão das Armaduras: Este processo ocorre quando o metal é oxidado por meio de sua interação com o meio. Este fato gera a diminuição de resistência mecânica, além da elasticidade e ductilidade, este é um caso específico de corrosão eletroquímica em meio aquoso, em que o eletrólito apresenta características de resistividade elétrica consideravelmente mais altas do que as dos eletrólitos típicos.

Desagregação do Concreto por Biodeterioração: A biodeterioração é um fenômeno de deterioração da estrutura de concreto que possui alta capacidade de geração de prejuízos com origem biogênica. São vários os tipos de microrganismos que atuam na deterioração do concreto. Para seu desenvolvimento, microrganismos necessitam de substratos receptivos e nutrientes em quantidade suficiente para realização de suas atividades metabólicas. Desta forma, o concreto mostra-se um substrato eficiente para este tipo de atividade, já que a sua porosidade aliada à umidade ocasionada pelos esgotos e à matéria orgânica disponível para bactérias e fungos, são condições importantes para proporcionar microclimas favoráveis à proliferação desses seres, conseqüentemente, gerando o desenvolvimento de processos de biodeterioração.

De modo objetivo, na tabela abaixo é descrito os fatores que são determinantes para a deterioração do concreto em ambientes agressivos:

Tabela - Fatores determinantes da corrosão

Fatores determinantes da corrosão em concreto	
Fatores mecânicos	Entre os fatores mecânicos, as vibrações podem ocasionar fissuras no concreto, possibilitando o contato da armadura com o meio corrosivo. Líquidos em movimento, principalmente contendo partículas em suspensão, podem ocasionar erosão no concreto, com o seu conseqüente desgaste. A erosão é mais acentuada quando o fluido em movimento contém partículas em suspensão na forma de sólidos, que funcionam como abrasivos, ou mesmo na forma de vapor, como no caso de cavitação.
Fatores físicos	Os fatores físicos, como variações de temperatura, podem ocasionar choques térmicos com reflexos na integridade das estruturas. Variações de temperatura entre os diferentes componentes do concreto (pasta de cimento, agregados e armadura), com características térmicas diferentes, podem ocasionar microfissuras na massa do concreto que possibilitam a penetração de agentes agressivos.
Fatores biológicos	Os fatores biológicos, como microrganismos, podem criar meios corrosivos para a massa do concreto e armadura, como aqueles criados pelas bactérias oxidantes de enxofre ou de sulfetos, que aceleram a oxidação dessas substâncias por ácido sulfúrico.
Fatores químicos	Os fatores químicos estão relacionados com a presença de substâncias químicas nos diferentes ambientes, normalmente água, solo e atmosfera. Entre as substâncias químicas mais agressivas devem ser citados os ácidos, como sulfúrico e clorídrico. Os fatores químicos podem agir na pasta de cimento, no agregado e na armadura de aço-carbono.

Fonte: Miotto (apud Arivabene, 2010)

PERDAS DE ÁGUA NO SISTEMA PÚBLICO DE ABASTECIMENTO

Nos sistemas públicos de abastecimento as perdas de água podem ser físicas, que representam a parcela não consumida, e aparentes, que correspondem à água consumida e não registrada. As falhas neste sistema, no Brasil, incidem em gastos e perdas de eficiência consideráveis, os quais possuem relação direta com os equívocos da fase de concepção e execução do projeto. A tabela abaixo mostra o quanto as patologias são influentes nestes casos.



Tabela: Perdas físicas em sistemas de abastecimento de água nas etapas, origem e magnitude.

<i>Etapa do sistema de abastecimento de água</i>	<i>Origem da perda</i>	<i>Magnitude</i>
Adução de água bruta	Vazamentos nas tubulações Limpeza do poço de sucção	Variável, função do estado das tubulações e da eficiência operacional
Tratamento de água	Vazamentos estruturais Lavagem de filtros Descarga de lodo	Significativa, função do estado das instalações e da eficiência operacional
Reservação	Vazamentos estruturais Extravasamentos Limpeza de reservatórios	Variável, função do estado das instalações e da eficiência operacional
Adução de água tratada	Vazamentos nas tubulações Limpeza do poço de sucção Descargas	Variável, função do estado das tubulações e da eficiência operacional
Distribuição (rede)	Vazamentos na rede Vazamentos em ramais Descargas	Significativa, função do estado das tubulações e principalmente das pressões

Fonte: SILVA et al. (2004)

A magnitude das perdas será maior quanto pior for o estado das tubulações, principalmente nos casos de pressões elevadas. As perdas físicas em redes de distribuição ocorrem, em ordem crescente de importância, nas seguintes peças: registros, juntas, anéis, hidrantes e tubos. Nestes últimos podem ocorrer até 95% das perdas na distribuição, quando estão rachados, perfurados ou partidos. As causas de danos em tubulações são mostradas abaixo. Ressalte-se ainda que variações de pressão na rede são determinantes de rupturas de tubulações e influenciam o volume de perda.

Tabela: As causas de danos em tubulações

<i>Atividade original da falha</i>	<i>Origem técnica da falha</i>	<i>Causa da ruptura na tubulação (ação hidráulica)</i>
Planejamento e projeto	<ul style="list-style-type: none">• Subdimensionamento• Ausência de ventosas• Cálculo incorreto de transientes• Regras de operação mal planejadas• Falta de articulação entre setores• Corpo técnico sem treinamento ou deficiente	<ul style="list-style-type: none">• Sobrepressão• Subpressão• Sub e sobrepressão• Sub e sobrepressão• Sobrepressão• Sub e sobrepressão
Construção	<ul style="list-style-type: none">• Construtivas• Materiais• Peças• Equipamentos• Corpo técnico sem treinamento ou deficiente	<ul style="list-style-type: none">• Não aplicável
Operação	<ul style="list-style-type: none">• Enchimento• Esvaziamento• Manobras• Ausência de regras de operação• Corpo técnico sem treinamento ou deficiente	<ul style="list-style-type: none">• Sub e sobrepressão• Subpressão• Sub e sobrepressão• Sub e sobrepressão• Sub e sobrepressão
Manutenção	<ul style="list-style-type: none">• Sem manutenção• Mal-feita• Corpo técnico sem treinamento ou deficiente• Interação deficiente entre operação e usuário• Tempo de resposta	<ul style="list-style-type: none">• Não aplicável
Expansão	<ul style="list-style-type: none">• Inexistência de projeto• Ausência de visão conjunta da rede existente com a que será expandida	<ul style="list-style-type: none">• Sub e sobrepressão• Sub e sobrepressão

Fonte: SILVA et al. (2004).

TECNOLOGIAS DE RECUPERAÇÃO E PROTEÇÃO DAS ESTRUTURAS:

Concreto ou argamassa projetada: A técnica de concreto projetado é bastante utilizada nos processos de recuperação estrutural e reforço. Consiste em se conduzir, através de uma mangueira, concreto ou argamassa, projetando-o em alta velocidade (acima de 120 m/s). A força do jato de concreto, ao encontrar a superfície de base, comprime o material mantendo-o auto aderido.

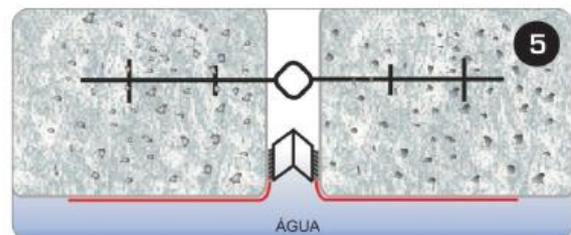
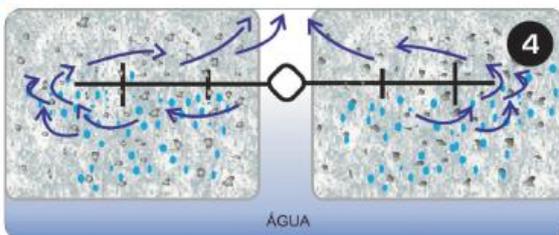
A superfície que vai receber o concreto pode estar na vertical, inclinada ou horizontal. Deve-se ter atenção a % de material refletido. Existem dois tipos de processos relacionados a esta técnica: via seca e via úmida.

Argamassa polimérica: No intuito de se recuperar o recobrimento original do concreto e melhorar as características de proteção da armadura tem-se utilizado, com bastante frequência, argamassas poliméricas industrializadas. O material pode ser aplicado projetado ou manualmente. As principais características deste

sistema são: a redução de água da mistura para se obter uma boa trabalhabilidade; a baixa permeabilidade; elevadas resistências à compressão e a boa aderência a substratos devidamente preparados.

Juntas de dilatação pré-formadas de Neoprene aderida com epóxi: Conforme dito anteriormente, as juntas de dilatação em estruturas de concreto armado no saneamento geram problemas críticos de vazamento e degradação. As juntas de dilatação são normalmente tratadas preventivamente pelo sistema de juntas fungenband (Figura 4), que em algumas vezes não é efetivo para a vedação dos líquidos presentes nas estruturas, seja por motivo de má aplicação (falta de vibração em torno das abas ou mau posicionamento da junta) ou por elevada movimentação da estrutura, rompendo assim o perfil e/ou o concreto em torno deste. Nestes casos, as recuperações têm sido executadas através do sistema de colagem de perfil de neoprene extrudado com resina epoxídica (Junta Tipo Jeene- Figura 5). Assim como os outros sistemas apresentados anteriormente, o sistema de reparo funciona efetivamente, desde que sejam seguidos os detalhes de preparação de superfície, cuidados necessários na aplicação, assim como os cuidados para garantir a impermeabilidade do concreto na região de colagem do perfil.

Figuras 4 e 5 – Figura 4 mostra os possíveis problemas causados pela concretagem deficiente em torno das fungenband e a Figura 5 mostra a possível intervenção para solução do problema



Revestimento com cimento polimérico – (baixas espessuras): O sistema de impermeabilização com cimentos poliméricos industrializados tem sido utilizados para a proteção e impermeabilização de estruturas de reservatório e ETAs (Estações de Tratamento de Água), porém este sistema tem sido contestado na Alemanha onde a DVGW – “Associação Científica e Técnica Alemã Para Gás e Água - Comitê de Reservação de Água”, publicou um manual de requerimentos básicos para o uso de produtos à base de cimento em reservatórios, onde indica que a utilização deste tipo de revestimento para impermeabilização ou proteção de estruturas de concreto deve seguir uma série de requerimentos, entre os quais:

Espessura mínima de 5mm para argamassas com tamanho da partícula máxima de 1mm; e

Espessura entre 5-15mm para argamassa projetada com tamanho de partícula máxima de 2-4mm.

SISTEMAS ATUAIS DE RECUPERAÇÃO E PROTEÇÃO DE ESTRUTURAS

Revestimento mineral de alta resistência química para impermeabilização e proteção das estruturas: O Sistema consiste na aplicação de um revestimento mineral modificado sinteticamente, aplicado manualmente (com ponte de aderência) ou projetado (diretamente sobre a estrutura preparada). Tem espessura de camada final mínima de 5mm e máxima de 10mm. O sistema tem grande versatilidade já que possui altas resistências às substâncias agressivas e à abrasão, boa impermeabilidade e permite a difusão de vapor d'água.

Proteção superficial à base de silicato polimérico: Argamassa de silicatos alcalinos poliméricos de alta aderência a substratos minerais pode ser aplicada manualmente ou projetada em uma espessura entre 8 e 12 mm. Apresenta gel de silicatos amorfos ($\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$) dentro da matriz endurecida, de forma que sua aderência, durabilidade e estabilidade dimensional faz torná-la apta para a proteção contra os gases formados pelo esgoto doméstico nas áreas em contato com gases das estações de tratamento de efluentes.

Tratamento químico impermeabilizante de alta penetração: O tratamento químico cristalizante tem por objetivo impermeabilizar e proteger as estruturas de concreto armado. Aplicado sobre o concreto, o tratamento é capaz de gerar formações cristalinas profundas, tornando-se parte integrante do mesmo e formando uma barreira definitiva que sela os poros e capilaridades, impedindo a penetração da água, mesmo sob altas pressões hidrostáticas.

Sistema de Injeção: A tecnologia de injeção consiste no preenchimento completo dos vazios (mínimo 80% da fissura) com um material adequado para cada tipo de fissura ou vazio, utilizando equipamentos de pressão e bicos para possibilitar a introdução dos materiais no interior da estrutura. O sucesso desta tecnologia depende

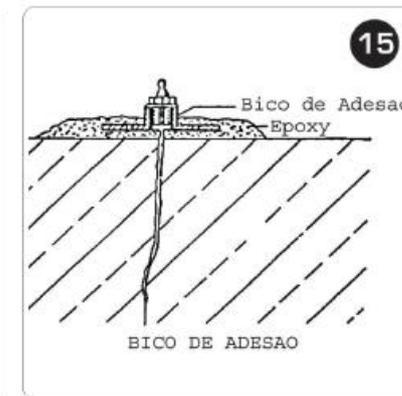
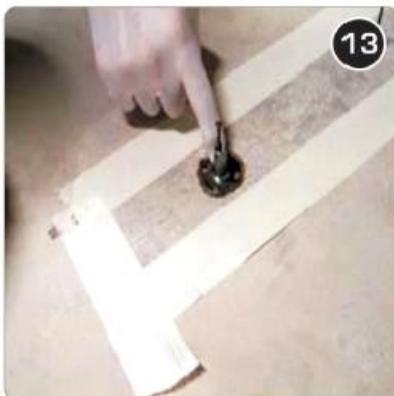


diretamente, além da correta escolha do material de injeção, da experiência da empresa e aplicador e seleção dos equipamentos. Esta técnica tem sido utilizada largamente como complemento aos sistemas rígidos de impermeabilização e proteção, para tratamento de trincas e para reparos localizados em estruturas em operação, pois possibilita o tratamento mesmo com a estrutura em carga.

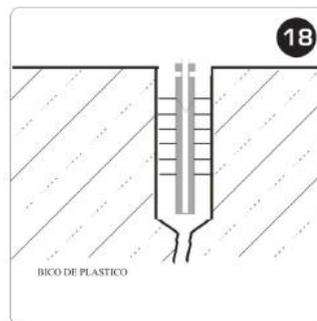
Figuras 10, 11 e 12 – Posicionamento dos bicos de perfuração em paredes de reservatório. Detalhe do bico de perfuração e corte esquemático do posicionamento do bico em relação à trinca



Figuras 13, 14 e 15 – Posicionamento dos bicos de adesão. Detalhe do bico de adesão e corte esquemático do posicionamento do bico em relação à trinca



Figuras 16, 17 e 18 – Posicionamento dos bicos plásticos. Detalhe do bico plástico e corte esquemático do posicionamento do bico em relação à trinca





Figuras 19, 20 e 21 – Em seqüência: bomba mono-componente, bomba bi-componente e bomba de injeção de microcimento



Bomba de injeção: Existem vários tipos de bombas de injeção. Dentre as mais utilizadas estão as bombas monocomponentes, bi-componentes e bombas de injeção de microcimento. Os benefícios indispensáveis em um equipamento de injeção são:

Ajuste ou limitação possível da pressão de injeção através dos controles de operação do equipamento;
Facilidade para operar;

Objetividade para testar sua efetividade;

Risco pequeno de paradas;

Facilidade de limpeza e movimentação.

QUADRO INDICATIVO P/ ESCOLHA DOS MATERIAS DE INJEÇÃO P/ PREENCHIMENTO DE TRINCAS E JUNTAS DE DILATAÇÃO			
	SECO	UMIDADE	FLUXO DE AGUA
RÍGIDO (estrutural)	EPOXI MICROCIMENTO	EPOXI ESPECIAL (para aderência em substrato úmido) MICROCIMENTO	
DÚCTIL (estrutural)	POLIURETANO ESTRUTURAL	POLIURETANO ESTRUTURAL	POLIURETANO ESTRUTURAL
FLEXÍVEL	POLIURETANO FLEXÍVEL	POLIURETANO FLEXÍVEL GEL ACRÍLICO POLIMÉRICO (necessita de contato permanente com a umidade após a aplicação)	POLIURETANO FLEXÍVEL POLIURETANO HIDROATIVADO (Espuma) GEL ACRÍLICO POLIMÉRICO (necessita de contato permanente com a umidade após a aplicação)

Tratamento estrutural: O recompor as suporte da resistentes do que a estrutura necessária a altas resis-fissuras das peças. Esses materiais são rígidos ou dúcteis e, portanto, não podem ser aplicados em fissuras ativas. Resinas à base de epóxi, poliuretano estrutural e microcimento são os materiais disponíveis atualmente para essa finalidade.

com recuperação tratamento estrutural visa condições iniciais de estrutura e dos esforços concreto estrutural. Para volte a ser monolítica, é injeção de materiais de tências mecânicas nas



Selamento de fissuras: O selamento de fissuras visa impedir a entrada de agentes agressivos na estrutura como: água, cloreto, gás carbônico (CO₂), sulfatos, etc. Os materiais disponíveis para selamento são resinas à base de poliuretano, os quais são encontrados na versão hidroativada, para injeção em fissuras com fluxo d'água, e resinas de poliuretano flexível para promover um selamento definitivo. Não é indicado para o selamento definitivo a injeção, somente de poliuretano hidroativado (espuma), ou seja, quando necessária a aplicação de poliuretano hidroativado para selar provisoriamente o fluxo de água, o poliuretano flexível deve ser injetado, no mesmo local, como um complemento do sistema.

Selamento de juntas de dilatação: O selamento de juntas de dilatação visa o preenchimento total do vazio entre as peças e em torno da fungeband para propiciar a estanqueidade e proteção. O material mais indicado para este tipo de tratamento é o Gel Acrílico Polimérico que alia uma ótima aderência ao concreto à grande flexibilidade.

Figuras 22, 23 e 24 – Em seqüência, posicionamento esquemático de bicos de perfuração, bicos de adesão e alternativa de posicionamento dos bicos para tratamento de juntas *fungeband*



Impermeabilização (áreas): A impermeabilização ainda é um avanço recente dos sistemas de injeção que vem sendo adotada, cada vez mais, nas obras subterrâneas. Trata-se da injeção de uma resina à base de gel acrílico, também conhecida como hidroestrutural, na parte posterior das estruturas de concreto, em grandes áreas. O material injetado forma uma membrana flexível em pouco tempo, devido ao curto tempo de reação, impermeabilizando estruturas abaixo do lençol freático.

CONCLUSÕES

Observa-se que em sistemas submetidos à agressividade física, química e biológica, é necessário realizar de forma adequada as etapas de concepção, execução e manutenção das estações e demais sistemas ligados ao saneamento. Para isso, pode-se dizer que o projeto deve ser feito dentro dos parâmetros estabelecidos por normas e pela literatura, dessa forma, é possível diminuir as perdas físicas e financeiras decorrentes de fatores que não estavam previstos inicialmente.

Diversos fatores como, carbonatação, contaminação por cloretos, corrosão de armaduras, eflorescência, biodeterioração por exemplo, mostram a ampla gama de patologias que estes ambientes têm como potencialidade de causa. Identificar e entender os mecanismos, sintomas, as causas e origens dos defeitos das obras é essencial para estar à frente das patologias estruturais e aplicar procedimentos assertivos com tecnologia adequada, rápida e eficiente. Nestes casos, é de grande importância uma investigação do projeto, das cargas e resíduos os quais a estrutura teve contato, além de analisar detalhadamente a forma como foi executada a obra.

Um item importante, no longo prazo, são as manutenções e inspeções posteriores ao tratamento, garantindo a durabilidade dos reparos e investigação para identificar alguma patologia ainda na fase insipiente.

Os sistemas de impermeabilização, proteção e recuperação, têm-se desenvolvido com uma velocidade muito grande, em decorrência do empenho de fabricantes deste tipo de material e pesquisas relacionadas a este tema. Os materiais de injeção, por exemplo, têm se tornado cada vez menos viscosos e mais eficientes para o preenchimento de trincas e vazios.

Fica claro, através das informações apresentadas, que os sistemas de proteção, recuperação estrutural e impermeabilização de estruturas de concreto no saneamento estão exigindo, a cada dia, mais especialização e

maior conhecimento de todos os profissionais envolvidos. Serão exigidos capacitação e conhecimento por parte dos projetistas, empresas de aplicação, técnicos de campo e mão-de-obra, de forma que todo este conjunto possa lograr os resultados de eficiência e durabilidade esperados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. CÂNOVAS, F. Manuel. Patologia e terapia do concreto armado. São Paulo: PINI, 1988.
2. MORI, T.; NONAKA, T.; TAZAKI, K.; KOGA, M.; HIKOSAKA, Y.; NODA, S. Interactions of nutrients, moisture and pH on microbial corrosion of concrete sewer pipes. *Water Research*, V. 26, No. 1, p. 29-37, 1992.
3. MONTENY, J.; VINCKE, E.; BEELDENS, A.; DE BELIE, N.; TAERWE, L.; VAN GEMERT, D. Chemical, microbiological, and in situ test methods for biogenic sulfuric acid corrosion of concrete. *Cement and Concrete Research*. vol. 30(4), p. 623–34, 2000.
4. MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. Concreto: estrutura, propriedades e materiais. 3 ed. São Paulo: IBRACON, 2008. (TRADUÇÃO)
5. NEVILLE, A. M.; BROOKS, J. J. Tecnologia do Concreto. 2ª ed. Porto Alegre: Bookman Editora Ltda, 2013.
6. BERTOLINE, L. Materiais de construção: Patologia, reabilitação e prevenção. Apresentação Paulo Helene. Editora Oficina de Textos: São Paulo, 2006.
7. CASCUDO, O. O controle da corrosão de armaduras em concreto: inspeção e técnicas eletroquímicas. Pini, Editora UFG, Goiânia, 1997.
8. MAIA, G.F.; CAMARGOS, C.A. Recuperação de estruturas de concreto no saneamento. Obras de Saneamento.