

# Sistemas de impermeabilização e proteção para obras de saneamento

**Jaques Pinto (1); Emilio Minoru Takagi (2);**

- (1) Diretor Técnico-Comercial da MC-Bauchemie Brasil;  
(2) Gerente Técnico da MC-Bauchemie Brasil.

## 1. Introdução

O concreto armado é atualmente o material de construção mais utilizado em obras de saneamento. Porém, apesar da grande evolução de sua tecnologia, os sistemas de tratamento de água e esgoto são cada vez mais agressivos e podem colocar em risco a operação e durabilidade das estruturas de saneamento. Portanto hoje em dia a utilização de sistemas de impermeabilização e proteção se faz necessária tanto em estruturas novas, para aumentar sua durabilidade, como em estruturas existentes, pois a tecnologia de concreto empregada no passado não mais atende aos atuais requerimentos.

Os níveis de ataque variam de acordo com cada ambiente das estações de tratamento de água e efluentes. Alguns produtos químicos usados rotineiramente no tratamento podem atacar o concreto. Também se deve considerar o efeito erosivo da água com partículas sólidas e principalmente a ação de bactérias que em sistemas de tratamento de esgoto fechados, que costuma ocasionar grandes problemas de corrosão na parte superior de grandes tubulações ou nos tetos das estruturas pela formação do ácido sulfúrico biogênico. No caso da água potável, aspectos de higiene são também fundamentais.

Em outubro de 2003, a ABNT divulgou a nova norma técnica NBR 9575 atualizando conceitos de projetos e a classificação das soluções de impermeabilização que atendessem às exigências de desempenho em relação à estanqueidade e à durabilidade. Esta norma NBR 9575:2003 - “Seleção e Projeto” cancela e substitui a versão anterior de 1998, além das normas NBR 8083, NBR 9689 e NBR 12190.

Na Europa a atual norma CEN EN 1504 rege os requerimentos para o reparo e proteção de estruturas.

Um grande esforço conjunto das entidades públicas e privadas está sendo realizado para que as estruturas de obras de saneamento alcancem um nível de desempenho de estanqueidade compatível com os aspectos técnicos de durabilidade. Sendo assim, torna-se necessária uma mudança substancial nos padrões de projeto, execução e manutenção das obras de saneamento. Portanto, é preciso tornar de amplo conhecimento público os principais condicionantes, benefícios e limitações das soluções de impermeabilização e proteção.

Este artigo visa contribuir na divulgação de importantes descobertas e as normas em vigor, principalmente na Europa onde existem em maior número e mais detalhadas. Mostraremos também brevemente os mecanismos de deterioração das estruturas de concreto para saneamento bem como uma comparação entre os principais sistemas de proteção disponíveis no mercado.

## 2. Características físico-químicas da água bruta e do esgoto.

Para a avaliação da eficácia dos revestimentos para impermeabilização e proteção química, é necessária a quantificação das cargas físico-químicas, sendo necessários levantamentos de campo na área em estudo, incluindo amostragem, análise de laboratório, medição de vazão e outros, podendo-se complementar com dados de literatura.

A água bruta apresenta inúmeras impurezas, sendo várias delas inócuas e outras prejudiciais à saúde humana, tais como substâncias tóxicas, bactérias e vírus. Assim, o tratamento prévio da água é de fundamental importância para o consumo humano, pois confere à água características de potabilidade e boa aparência ao eliminar as impurezas presentes que devem ser removidas. Os principais produtos utilizados no tratamento são apresentados na tabela abaixo.

<b>Coagulantes</b>	sulfato de alumínio, cloreto férrico e policloreto de alumínio
<b>Desinfetantes</b>	cloro gasoso, hipoclorito de sódio e hipoclorito de cálcio
<b>Correção de pH</b>	hidróxido de cálcio, hidróxido de sódio e carbonato de sódio
<b>Fluoretação</b>	fluossilicato de sódio e ácido fluossilícico
<b>Algicidas</b>	sulfato de cobre e desinfetantes
<b>Seqüestrantes para ferro, manganês e dureza</b>	Ortopolifosfatos

Na área dos efluentes, devido à ampla variabilidade das suas características qualitativas, torna-se difícil a generalização dos valores mais comuns. Também se deve considerar que a prática comum é a integração dos despejos industriais com os esgotos domésticos na rede pública de coleta. As características quantitativas químicas típicas de esgotos predominantemente domésticos encontram-se apresentados de forma sintetizada na tabela abaixo.

Sólidos totais	1100 mg/L	Nitrogênio total	50 mgN/L	alcalinidade	140 mgCaCO <sub>3</sub> /L
DBO <sub>5</sub>	350 mg/L	Fósforo	14 mgP/L	Cloretos	35 mg/L
COT	250 mg/L	pH	6,7 ~ 7,5	Óleos e graxas	110 mg/L

**Sólidos totais** deve se considerar o efeito erosivo do fluxo de água contendo estas partículas principalmente em locais com velocidade de fluxos mais elevados;

**DBO<sub>5</sub> e COT** são parâmetros de determinação de quantidade de matéria orgânica no esgoto. As ações de microorganismos sobre o material orgânico produzem o gás sulfídrico (H<sub>2</sub>S), que são inconvenientes por se oxidarem na forma de ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>), este ataca a superfície do concreto e a armadura, podendo ocasionar a fragilização das barras de ferro pelo processo de fragilização por hidrogênio molecular;

**Nitrogênio total** o nitrogênio é um elemento indispensável para o crescimento dos microorganismos e algas; sais de amônio (NH<sub>3</sub>) são inconvenientes porque reagem com a alcalinidade protetora do concreto;

**Fósforo** é um nutriente essencial para o crescimento de microorganismos e algas;

**pH:** o valor é próximo ao neutro pH 7;

**Cloretos** a presença de íons cloretos promovem a corrosão eletroquímica pontual da capa passivante da armadura do concreto;

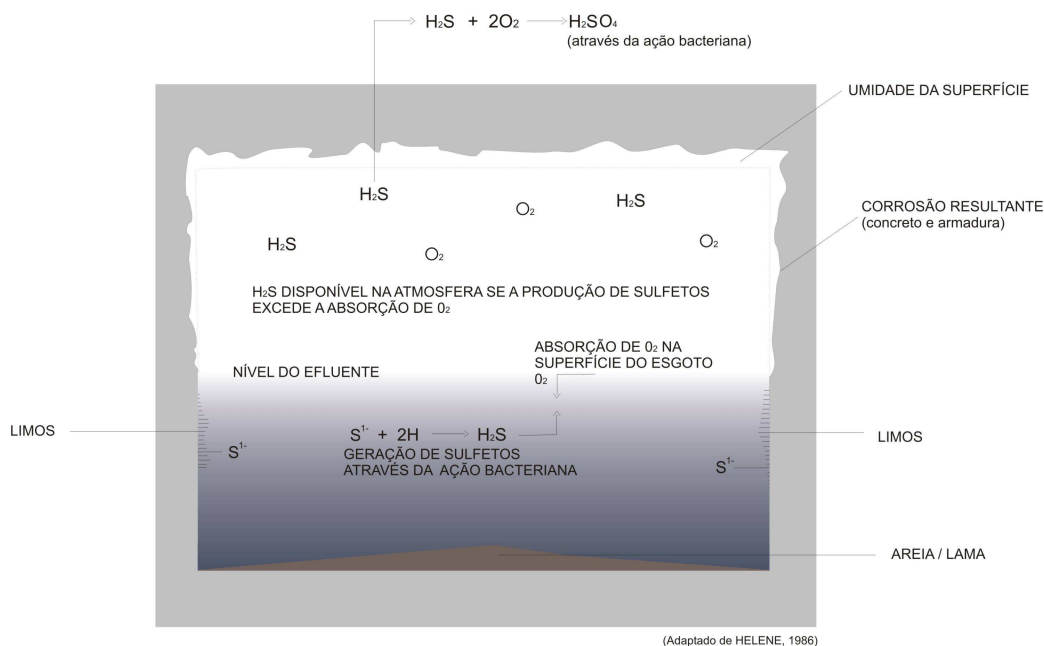
**Alcalinidade:** pela própria natureza química da pasta de cimento, pode-se prever que o concreto, devido à sua natureza alcalina, apresente boa resistência à ação de bases. Entretanto, em presença de soluções concentradas alcalinas, pode se verificar a deterioração do concreto;

**Óleos e graxas:** a presença de solventes orgânicos ou compostos com ligações covalentes e, portanto considerados não-eletrólitos, dificilmente originam casos de corrosão, sendo que ficam mais relacionados com a presença de impurezas que podem existir nos mesmos ou na solução;

**Ácido sulfúrico biogênico:** Atenção especial deve-se tomar ao ataque por ácido sulfúrico biogênico, pois se trata do maior potencial de deterioração existente em estruturas de esgoto.

Os problemas de formação de gás sulfúrico biogênico são bastante conhecidos em tubulações de grandes diâmetros nas estruturas das estações de tratamento de esgoto. O concreto de tubulações de esgoto está sujeito à ação de bactérias, como o *Thiobacillus thiooxidans* e *Thiobacillus concretivorus*, que oxidam compostos de enxofre ( $H_2S$ ) presentes no esgoto e os transformam em ácido sulfúrico biogênico. Essas bactérias são aeróbicas e necessitam da presença de oxigênio e, portanto a ação oxidante dessas bactérias costuma ocasionar corrosão mais intensa na parte superior de grandes tubulações ou nos tetos das estruturas de armazenamento de esgotos. Seus processos metabólicos ocasionam valores de pH do ácido sulfúrico biogênico em torno de 2, podendo alcançar valores ainda menores de 0,7.

O ataque por ácido sulfúrico biogênico ocorre em estruturas de esgotos que necessitaram de uma tampa para evitar a propagação do gás sulfídrico como mostra a Figura 1. A formação de gás sulfídrico,  $H_2S$ , é proveniente da ação redutora de bactérias anaeróbicas *Desulfovibrio desulfuricans*, sobre compostos orgânicos ou inorgânicos de enxofre presentes nos esgotos, e possuem o inconveniente do cheiro de “ovo podre”.



**Figura 1 – Mecanismo de deterioração do concreto por ataque de ácido sulfúrico biogênico**



Figura 2 – Instalação de tampas sobre aeradores de esgoto



Figura 3 – Ataque de ácido sulfúrico biogênico

Grandes deteriorações podem ocorrer no concreto dos tetos destas estruturas com perdas que podem chegar a 7 cm de cobrimento do concreto em menos de 5 anos, como mostra a Figura 3.

### 3. Revestimentos minerais x resinas orgânicas

Durante as últimas décadas diversos sistemas de proteção foram desenvolvidos e utilizados para a proteção de estruturas de água e esgoto. Basicamente podemos distinguir estes sistemas em dois, os orgânicos e os inorgânicos. Os sistemas orgânicos são constituídos principalmente por resinas de epóxi, poliuretano, furânicas, fenólicas ou de poliéster. Os inorgânicos são principalmente à base de cimento ou outros sistemas minerais.

As principais características típicas encontradas nos sistemas minerais e orgânicos estão demonstradas na tabela abaixo.

PROPRIEDADES	MINERAL	ORGÂNICA
Resistência Química (pH)	0 ~ 14	2 ~ 13
Resistência a Temperatura (°C)	570 °C	80 °C
Substrato para aplicação	Úmido	Seco
Densidade	2,2 g/cm <sup>2</sup>	1,5 g/cm <sup>2</sup>
Resistência a compressão (28 dias)	60,0 MPa	80 MPa
Resistência a tração(28 dias)	10,0 MPa	40 MPa
Difusão de vapor	SIM	NÃO
Resistência ao Raio UV	SIM	NÃO
Meio Ambiente	Inofensivo	Podem conter elementos voláteis

### 4. Risco de osmose em revestimentos orgânicos

Um das principais diferenças entre os sistemas orgânicos e inorgânicos diz respeito a difusão de vapor de água. Normalmente os revestimentos inorgânicos são considerados abertos à difusão de água enquanto os orgânicos fechados à difusão de vapor de água. Por esta característica devem-se tomar cuidados especiais na utilização de revestimentos orgânicos em estruturas de saneamento devido ao grande risco da ocorrência do fenômeno de osmose. Sabe-se que o movimento da água através de uma parede de concreto ocorre pelo gradiente de umidade entre os dois lados devido ao efeito osmótico, e não apenas pela pressão hidrostática. Este gradiente de umidade pode exercer uma pressão de vapor significativa, onde a umidade retida tende a sair e empolar películas impermeáveis (vide Figura 4).

Para um revestimento protetor ser considerado permeável ao vapor este deve possuir um valor  $S_D$  (steam diffusion) menor que 5,0 metros em camada de ar conforme os critérios preconizados na norma para revestimentos para proteção de superfícies de concreto EN 1504-2:2004. Caso o revestimento apresente um valor  $S_D$  maior que 50 metros de camada de ar, este é considerado impermeável à difusão de vapor e pode apresentar patologias de bolhas e deslocamentos, como mostrado na Figura 5. Para um melhor entendimento, o valor  $S_D$  (steam diffusion) é definido como a espessura em metros de camada de ar equivalente a resistência à difusão de vapor d'água do material de revestimento. A resistência à difusão do material é função da espessura do revestimento e o fator de difusão de vapor d'água no material ( $\mu_{H_2O}$ ).



Figura 4 – Efeito de osmose

Figura 5 - Efeito de osmose em revestimento orgânico

Deve se considerar o efeito de pressão de vapor sobre revestimentos impermeáveis, pois a umidade retida tende a sair e empolar películas impermeáveis. O gradiente de pressão de vapor dentro do concreto, causada pelo movimento de vapor d'água, a partir de áreas de grande umidade para de baixa umidade, pode chegar a valores de 1,5 MPa de pressão de arranque. Portanto encapsular o concreto com películas impermeáveis representa um grande risco.

#### 4. Sistemas de impermeabilização e proteção minerais

Atualmente os principais sistemas de impermeabilização e proteção de estruturas minerais estão divididos em:

##### 4.1 Sistemas de cristalização

Os sistemas de cristalização são conhecidos e vêm sendo aplicados mundialmente com sucesso durante as últimas décadas. Tratam-se de sistemas que tornam o concreto menos permeável devido a reações de formações de cristais nos poros e capilares do concreto. Diversos sistemas estão disponíveis, sendo os atuais manuseados da forma monocomponente e aplicados por pintura sobre o concreto em não mais do que duas camadas. Suas propriedades permitem sua aplicação em áreas de água potável e também de efluentes, pois sua resistência química encontra-se numa faixa de pH entre 3 e 11. Porém cuidados devem ser tomados pois estes sistemas não possuem resistência a abrasão.

##### 4.2 Revestimentos a base de cimento polimérico – baixa espessura (< 3 mm);

Os revestimentos à base de cimento polimérico consistem normalmente em produtos bicomponentes, sendo um pó a base de cimento e um líquido a base de polímeros. Como nos sistemas cristalizantes, os produtos mais atuais utilizam em sua formulação polímeros em pó e são manuseados da forma monocomponente, o que diminui a possibilidade de erros na dosagem. Suas propriedades permitem normalmente sua aplicação em estruturas de água, não sendo recomendados para a aplicação em estruturas de efluentes devido à sua baixa resistência química e falta de resistência à abrasão.

Porém este sistema tem sido contestado na Alemanha onde recentemente foi publicado o resultado de um estudo da VDZ, associação alemã dos fabricantes de cimento. O estudo foi feito com base em uma pesquisa em diversos reservatórios e testes de laboratórios que mostraram a formação de pontos de corrosão nos revestimentos. Esta corrosão deve-se principalmente a presença de metil-celulose e um alto fator água cimento nos produtos. Com base neste estudo a DVGW – “Associação Científica e Técnica Alemã para Gás e Água - Comitê de Armazenamento de Água”, publicou um manual de requerimentos básicos para o uso de revestimentos cimentícios em reservatórios de água potável, sendo os principais requerimentos os seguintes:

Fator água cimento equivalente  $< 0,5$ ;  
Ar incorporado na argamassa fresca  $< 5 \%$ ;  
Volume total de poros 90 dias  $< 10 \%$ ;  
Resistência a compressão  $> 45 \text{ MPa}$   
Aderência  $> 1,5 \text{ MPa}$ ;  
Espessura mínima 5 mm.

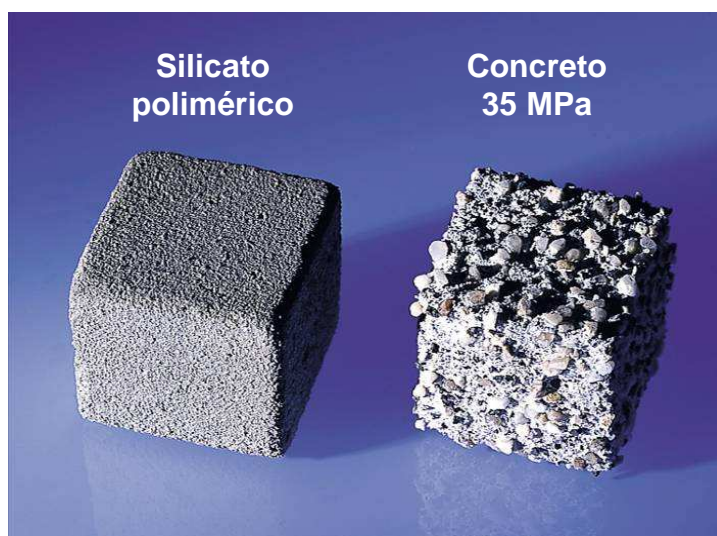
#### **4.3 Revestimentos de alta resistência química à base de cimento – alta espessura ( $> 5,0 \text{ mm}$ );**

Os revestimentos minerais de alta resistência à base de cimento atendem aos requerimentos da DVGW e preferencialmente utilizam cimentos isentos de  $C_3A$  em função da necessária resistência à sulfatos. Podem ser aplicados de maneira manual ou projetado e são recomendados para aplicação em estruturas que armazenam água potável e em estruturas que contenham efluentes devido à sua grande resistência química (pH 3 a 14).

#### **4.4 Revestimentos minerais de alta resistência química isentos de cimento**

O sistema de revestimento de alta resistência química tem como base um silicato polimérico. Consiste de gel de silicatos amorfos ( $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ ) dentro da matriz endurecida desta substância mineral pura, cuja aderência, durabilidade e estabilidade dimensional o tornam ideal para proteção de superfícies de concreto e aço em estações de efluentes, indústrias químicas e instalações de energia elétrica.

Os revestimentos minerais à base de silicatos poliméricos são abertos à difusão de vapores de água e é resistente a todos os ácidos orgânicos e inorgânicos com pH próximos ao ZERO (exceto ao ácido hidrofúrico) e resistente a temperaturas de até  $570^\circ\text{C}$ . Este tipo de revestimento pode ser usado para aplicações onde altos carregamentos mecânicos e agentes agressivos são encontrados ao mesmo tempo. A Figura 5 mostra cubos de silicatos poliméricos e concreto com 35 MPa após o contato com solução ácida com pH menor que 1,0.



**Figura 5** Teste de contato com ácido em pH menor que 1,0

## 5. Principais requerimentos e normas para estruturas de água e esgoto

Água potável	Esgoto – contato com o efluente	Esgoto – zona de gás
Impermeabilidade – NBR 10787 e DIN 1048	Impermeabilidade – NBR 10787 e DIN 1048	Impermeabilidade – NBR 10787 e DIN 1048
Potabilidade – NBR 12170	Aderência em superfícies úmidas	Aderência em superfícies úmidas
Higiene – DVGW W347	Difusão de vapor de água $\leq 4,0\text{m}$ (DIN 52615)	Difusão de vapor de água $\leq 4,0\text{m}$ (DIN 52615)
Microorganismos – DVGW W270	Aderência $> 1,5$ MPa – DVGW W300	Aderência $> 1,5$ MPa – DVGW W300
Aderência em superfícies úmidas	Total de Poros $< 10$ % - DVGW W300	Total de Poros $< 10$ % - DVGW W300
Difusão de vapor de água $\leq 4,0\text{m}$ (DIN 52615)	Resistência c compressão $> 45$ MPa – DVGW W 300	Resistência c compressão $> 45$ MPa – DVGW W 300
Aderência $> 1,5$ MPa – DVGW W300	Espessura $> 5$ mm – DVGW W300	Espessura $> 5$ mm – DVGW W300
Total de Poros $< 10$ % - DVGW W300	Resistência a águas agressivas – DIN 4030 e DIN 1045, parte 2	Resistência a águas agressivas – DIN 4030 e DIN 1045, parte 2
Resistência à compressão $> 45$ MPa – DVGW W 300	Resistência à penetração de cloretos	Resistência à penetração de cloretos
Espessura $> 5$ mm – DVGW W300	Resistência ao ataque de sulfatos – isenta de C <sub>3</sub> A	Resistência ao ataque de sulfatos – isenta de C <sub>3</sub> A
Fácil manutenção e limpeza	Resistência a abrasão - DIN EN 598	Resistência ao ácido sulfúrico biogênico
Amigável ao meio ambiente	Fácil manutenção e limpeza	Fácil manutenção e limpeza
	Amigável ao meio ambiente	Amigável ao meio ambiente

## 7. Conclusões

Apesar da grande evolução de tecnologia do concreto, os sistemas de tratamento de água e esgoto são cada vez mais agressivos e podem colocar em risco a operação e durabilidade das estruturas de saneamento. Portanto, hoje em dia, a utilização de sistemas de impermeabilização e proteção se faz necessária tanto em estruturas novas como em estruturas existentes, pois a tecnologia de concreto empregada no passado não mais atende os requerimentos atuais.

Diversos sistemas de proteção estão disponíveis, principalmente orgânicos à base de resinas e inorgânicos à base de cimento ou não. Características como a abertura a difusão de vapor de água, possibilidade de aplicação em substratos úmidos e a execução de reparos pontuais diminuem os riscos da utilização de sistemas minerais tanto durante a aplicação como na operação e manutenção. Portanto, por sua natureza, similar ao concreto, a aplicação de revestimentos minerais para a impermeabilização e proteção de estruturas nos parece uma tendência e a mais apropriada para estruturas de saneamento.