

## **RECUPERAÇÃO E PROTEÇÃO DE ESTRUTURAS DE CONCRETO SUJEITAS A ATAQUE QUÍMICO POR ÁGUA DESMINERALIZADA**

**Rafaela Sebben Eckhardt** <sup>(1)</sup>

Engenheira Civil pela Universidade de Passo Fundo (UPF). Extensão universitária pela Universidade Lusófona. Pós graduada em Patologia das Construções: Diagnósticos e Tratamentos pelo IPOG. Projetista de impermeabilização e patologista na Qualify Engenharia. Mestranda em Ciência e Engenharia dos Materiais pela UNESC. Consultora técnica da Penetron Brasil.

**Ulisses Mendes Grizotti** <sup>(2)</sup>

Engenheiro Civil pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo. Consultor técnico comercial da Penetron Brasil. Experiência em sistemas para a proteção e reparo de estruturas de concreto.

**Endereço** <sup>(1)</sup>: Travessa 15 de fevereiro, nº 64 – Criciúma – SC - CEP: 88802-580 - Brasil - Tel: +55 (47) 99271-1879 - e-mail: rafaela@penetron.com.br.

### **RESUMO**

O tratamento dos efluentes de esgoto para reuso em indústrias é uma prática que vem aumentando no Brasil, dados os benefícios ambientais atrelados a esta solução. O Aquapolo realiza o tratamento do esgoto captado e pré tratado pela SABESP, para reuso em indústrias, porém, na etapa final, parte da água já ultrafiltrada é desviada para um polimento final por meio da tecnologia de osmose reversa. A água de osmose-reversa, que possui baixa concentração de minerais em sua composição, é armazenada em tanques enterrados de concreto armado que sofrem perda de sua pasta de cimento, causada pela hidrólise. Nesse sentido, foi elaborada uma solução de cristalização do concreto para os tanques de água ultrafiltrada e de pintura base epóxi para os tanques de água de osmose reversa, a fim de obter impermeabilidade e resistência química necessárias para atingir uma maior durabilidade nestas estruturas.

**PALAVRAS-CHAVE:** Concreto, proteção química, autocicatrização.

### **INTRODUÇÃO**

De acordo com Cruvinel et al (2021) e Torres et al (2019) dada a rápida urbanização e o aumento da variabilidade climática, há uma preocupação quanto à escassez de recursos hídricos. Para minimizar esta problemática tem-se buscado alternativas para o gerenciamento de tais recursos hídricos a fim de garantir um fornecimento de água potável a longo prazo.

Lenhard et al (2010) apontam que uma destas alternativas é o tratamento de efluentes de esgoto que seriam descartados na rede pluvial, para reuso em indústrias, sendo que estas são uma das principais consumidoras de água, tanto pela perda ou incorporação nos produtos, como pelo descarte final. Este reuso gera uma economia de consumo de água potável, pois o litro de água potável que seria consumido pela indústria agora será substituído pela água de reuso.

Para o tratamento destes efluentes pré tratados tem-se processos como filtração, reatores biológicos, lodo ativado, entre outros. Nestes tratamentos o efluente permanece contido dentro de reservatórios de plásticos especiais ou de concreto, que necessitam de impermeabilidade e, em alguns casos, resistência química elevada.

O concreto em contato com água e oxigênio é passível de diversas manifestações patológicas, que podem ser evitadas pela impermeabilização das estruturas, sendo esta também necessária para viabilizar a contenção dos fluídos dentro do tanque e aumentar a durabilidade das estruturas, conseqüentemente, reduzindo as intervenções de recuperação e reparo.

Já em estruturas de concreto em contato com a água final tratada por eletro-osmose, por exemplo, há também uma necessidade de proteção química atrelada à impermeabilidade, pois a pasta do concreto em contato com esta água sofre uma deterioração acelerada causada pela hidrólise dos componentes desta pasta, pois a água

pura gerada neste processo contém pouco ou nenhum íon de cálcio, sendo assim quando entra em contato com a pasta de cimento, que possui alto teor de cálcio, tendem a se equilibrar, ou seja, esta água irá consumir o cálcio do cimento, lixiviando-o e reduzindo a resistência mecânica do concreto remanescente.

Neste estudo foi abordada uma metodologia de recuperação e proteção de estruturas de concreto hidráulicas para os tanques de água ultrafiltrada, por meio do sistema de cristalização capilar integral autocicatrizante e outra para os tanques de água desmineralizada, que sofrem deterioração da sua pasta pelo ataque químico da água pura, com uma membrana epóxi.

## OBJETIVOS

Este trabalho visa descrever a metodologia de recuperação e proteção das estruturas de concreto em contato eminente com água ultrafiltrada e sujeitas ao ataque químico por água desmineralizada, geradas do tratamento de esgoto pré tratado, para reuso em indústrias. A definição das soluções adotadas foi feita com base na análise dos fluídos finais armazenados nas estruturas, em contato direto com a superfície de concreto.

## METODOLOGIA

O Aquapolo é o maior empreendimento para a produção de água de reuso industrial da América do Sul. O processo visa coletar parte do esgoto tratado pela SABESP, que seria despejado na rede pluvial, e realizar seu tratamento através de uma bateria de filtros, seguido de processos biológicos anóxico e aeróbio por meio de reator biológico tipo carrossel e separação física do lodo ativado com membranas de ultrafiltração, por fim, parte da água é desviada para um polimento final por meio da tecnologia de osmose reversa, que gera a água desmineralizada. As características das águas geradas ao final dos tratamentos estão ilustradas na Figura 1.

Figura 1 – Características das águas

Água ultrafiltrada			Água de osmose reversa		
pH	6,5 a 7,5		pH	6,5 a 7,5	
Temperatura	20 a 30	°C	Temperatura	20 a 30	°C
Condutividade	400 a 700	µS/cm	Condutividade	10 a 50	µS/cm
Cloro Livre	< 0,2	mg/L	Cloro Livre	< 0,2	mg/L
Sulfeto	< 1	mg/L	Sulfeto	< 1	mg/L
Amônia	< 1	mg/L	Amônia	< 1	mg/L

Fonte: Aqualo (2020)

A baixa condutividade da água de osmose reversa é justificada pela baixa concentração de minerais presentes nela, sendo estes os responsáveis pela condutividade elétrica, e não a água em si.

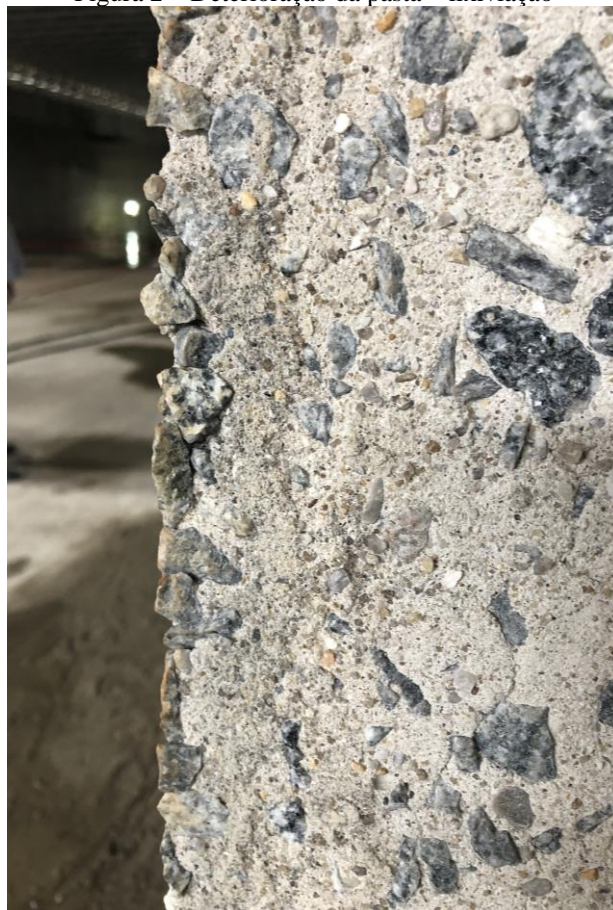
O tratamento de osmose reversa é necessário pois parte da água é utilizada para o resfriamento de caldeiras industriais, ou seja, passam constantemente por tubulações metálicas. O objetivo desta desmineralização da água é evitar os depósitos de minerais nas tubulações que causam sua corrosão e encrustamento, reduzindo a produtividade e a vida útil do sistema.

O tratamento de desmineralização da água ocorre em tanques de concreto que acabam sofrendo deterioração precoce de sua pasta pelo ataque químico por meio da redução da alcalinidade no concreto, lixiviação da pasta e redução da resistência mecânica.

De acordo com Mehta e Monteiro (2014) na pasta de cimento Portland bem hidratada, os compostos da hidratação do cimento estão equilibrados com a solução de poros de alto pH, tendo um pH final entre 12,5 a 13,5. Em contato com a água desmineralizada, que possui o pH entre 5,5 e 6,5. Haverá uma redução da alcalinidade desta pasta que será exponencial em função do pH do fluido agressivo e da permeabilidade deste concreto, sendo o CO<sub>2</sub> livre o principal responsável por esta redução.

Ainda segundo Mehta e Monteiro (2014), em águas puras ou desmineralizadas, tem-se pouco ou nenhum cálcio, então, em contato com o concreto que apresenta alto teor de cálcio, inicia-se um processo de equilíbrio, onde ocorre a dissolução dos produtos de hidratação do cimento que contém cálcio, sendo o hidróxido de cálcio o mais suscetível à hidrólise dada a sua elevada solubilidade. Este processo faz com que a maior parte do cálcio seja consumido, ocorrendo a lixiviação (Figura 2).

Figura 2 – Deterioração da pasta – lixiviação



Fonte: Autores 2022

Segundo Ekström (2001), quando um material sólido é lixiviado, sua porosidade aumenta e sua concentração de íons hidroxila diminui, conseqüentemente tem-se um aumento da permeabilidade e um aumento da lixiviação, ao passo que sua resistência sofre redução, justificada pela remoção de seu cálcio, sendo o C-S-H (silicato de cálcio hidratado) o principal componente da pasta de cimento (50 a 60%) e o principal responsável pela resistência mecânica.

Além da deterioração da estrutura, este consumo de cálcio pela água pura, gera uma alteração na qualidade da água final, que incorpora os minerais extraídos da pasta de cimento.

O tratamento da água ultrafiltrada também ocorre em tanques de concreto enterrados, porém, mesmo sem sofrer o ataque químico da hidrólise, há outras manifestações patológicas causadas pelo contato da água comum com o concreto da estrutura, sendo que a água é o agente que carrega contaminantes como cloretos,

sulfatos e carbonatos para o interior do concreto, gerando fissuras, deslocamentos, perda superficial da pasta e consequentemente reduzindo a durabilidade da estrutura, o que gera necessidade de manutenção constante.

Os tanques existentes tinham cerca de 40 a 50 anos de idade, porém entraram em uso a partir de 2011/2012. A impermeabilização existente era de argamassa polimérica, que já apresentava deterioração.

Desta forma, foram determinadas soluções técnicas da Penetron, visando o reparo das manifestações patológicas e posterior impermeabilização adequada para cada tipo de estrutura, levando-se em consideração o curto período para a execução das soluções, para não impactar o processo de produção e armazenamento.

A solução adotada foi o sistema de cristalização capilar integral autocicatrizante no tanque de água ultrafiltrada, para dar estanqueidade e durabilidade à estrutura. Segundo Lema, Moraes e Ourives, este sistema penetra no concreto e forma uma estrutura de cristais insolúveis de silicato de cálcio hidratado (C-S-H) e carbonato de cálcio ( $\text{CaCO}_3$ ) modificados nos poros, capilares e fissuras do concreto com abertura de até 0,5 mm em uma profundidade variável de acordo com a porosidade do concreto, pressão do fluido, etc, reduzindo a permeabilidade do concreto. Além disso, tem alta resistência química; alta alcalinidade; autocicatrizante fissuras passivas existentes e que possam surgir ao longo do uso de até 0,5 mm; é uma solução de baixa emissão de carbono.

No tanque de osmose reversa, dado o ataque químico causado pela água desmineralizada em materiais cimentícios, foi necessário aplicar membrana epóxi sem solventes, que forma uma barreira física impermeável com alta resistência química e que suporta o ataque da água sem sofrer deterioração, além de não permitir as trocas químicas que afetam a qualidade da água final.

A primeira etapa da recuperação se deu por meio da preparação da superfície dos tanques, com hidrojateamento de alta pressão para remoção do concreto frágil (Figura 3).

Figura 3 – Remoção da camada de concreto deteriorado.



Fonte: Autores (2022)

Após este processo foi possível identificar as manifestações patológicas existentes e então definir e confirmar os tratamentos necessários para cada tanque, com o objetivo de recuperar, proteger e impermeabilizar as estruturas em concreto.

As falhas no concreto e os elementos passantes das estruturas foram tratados com a argamassa de reparo estrutural com cristalizante, Penecrete Mortar (Figura 4).

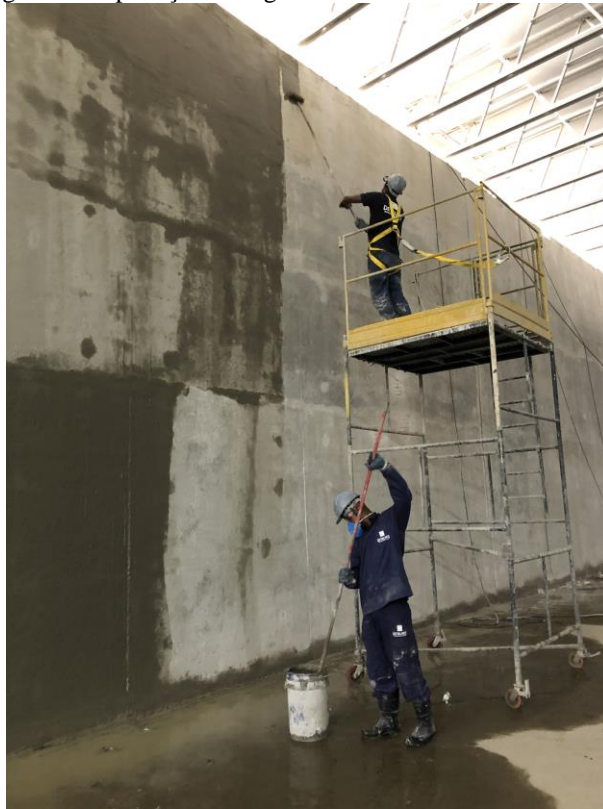
Figura 4 – Tratamento das falhas no concreto.



Fonte: Autores (2022)

Nos tanques de água ultrafiltrada foi realizada a proteção por cristalização capilar integral com pintura de Penetron em toda a área de piso, parede e teto sobre a superfície saturada seca, o que agilizou a execução por não necessitar o aguardo da secagem do substrato. Após a aplicação (Figura 5) foi realizada cura úmida por 5 dias e então colocado em teste de carga estendido para ativação do sistema de cristalização por 28 dias.

Figura 5 – Aplicação da argamassa autocicatrizante Penetron.



Fonte: Autores (2022)

Durante a ativação, os cristais insolúveis do Penetron iniciam sua formação e penetração na estrutura de forma gradativa, até a estrutura atingir a permeabilidade zero. Após a validação do sistema, a estrutura foi liberada para sanitização e uso.

Nos tanques de água de osmose reversa foi necessário realizar a recomposição do concreto lixiviado com aplicação de argamassa tixotrópica de reparo estrutural, Patchline SM, a fim de garantir o cobrimento da armadura.

Após 24 horas de cura úmida, foi liberado para aplicação da membrana epóxi, Penecoat EP 330 aplicada por rolo (Figura 6).

Figura 6 – Aplicação da resina epóxi.



Fonte: Autores (2022)

## CONCLUSÃO

Neste trabalho foi verificado que há alternativas de sistemas de impermeabilização que fornecem uma maior vida útil para as estruturas hidráulicas de concreto, através de sua proteção contra os agentes agressivos, bem como, há sistemas de impermeabilização com alta proteção química, que estão constantemente evoluindo e melhorando seus desempenhos.

Desta forma é necessário realizar análise prévia dos fluídos que estarão em contato com a estrutura de concreto, a fim de possibilitar uma tomada de decisões sobre os produtos a serem utilizados, que atenda a proteção necessária, forneça a durabilidade desejada da estrutura e viabilize a execução.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. CRUVINEL, K. A. S. et al. *Reuso de água a partir de efluentes de estações de tratamento de esgotos para irrigação de pastagens na bacia hidrográfica do rio meia ponte*. Gesta, v. 9, p. 126-140, 2021.
2. EKSTRÖM, T. *Leaching of concrete: Experiments and modelling*. Lund: Lund University, 2001. Report TVBM-3090. 229 p.
3. LEMA, D.; MORAES, E. F. S.; OURIVES, C. N. *Durabilidade das estruturas pela impermeabilização por cristalização integral do concreto*. Revista Concreto & Construções – IBRACON, p. 94-102.
4. LENHARD, D. C. et al. *Foto-oxidação catalítica aplicada ao tratamento de efluentes para obtenção de água para reuso na indústria têxtil*. Holos Environment, v.10, p.26-41, 2021.

5. MEHTA, P. K; MONTEIRO, P. J. M. Concreto – Microestrutura, propriedades e materiais. IBRACON, 2014.
6. TORRES, D. M. et al. *Tratamento de efluentes e produção de água de reuso para fins agrícolas*. Holos, Ano 35, v.8, e9192, 2019.