

AVALIAÇÃO DA AÇÃO DE CLORETOS EM RESERVATÓRIOS DE CONCRETO ARMADO PARA DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA TRATADA

Barbosa, Mariana Carla da Silva ¹; Santana, Álef F. C. ²; Angelo, David K. H. ³; Rodrigues, Viviane D. ⁴; Santos, Tiago F. A. ⁵; Berenguer, Romildo A. ⁶

¹ Graduanda, Universidade de Pernambuco; Escola Politécnica de Pernambuco; e-mail: mcsb1@poli.br

² Graduando, Universidade de Pernambuco; Escola Politécnica de Pernambuco; e-mail: afcs2@poli.br

³ Graduando, Universidade de Pernambuco; Escola Politécnica de Pernambuco; e-mail: dkha@poli.br

⁴ Doutora, Universidade Federal de Pernambuco; Instituto Nacional de Tecnologia em União e Revestimento de Materiais (INTM); e-mail: Viviane.drumond@ufpe.br

⁵ Doutor, Universidade Federal de Pernambuco; Instituto Nacional de Tecnologia em União e Revestimento de Materiais (INTM); e-mail: tiago.felipe@ufpe.br

⁶ Pós-Doutor, Universidade de Pernambuco; Escola Politécnica de Pernambuco; e-mail: romildo.berenguer@upe.br

Resumo: O concreto armado, amplamente utilizado na engenharia civil, tem apresentado aumento significativo de manifestações patológicas, exigindo maior atenção à sua durabilidade e desempenho. Este estudo tem como objetivo avaliar o estado de conservação das estruturas em três grandes reservatórios de concreto armado, utilizados na distribuição de água tratada, afetados pela ação de íons cloreto, com vistas a propor recomendações no sentido de impedir o avanço dos mecanismos patológicos destruidores das estruturas, com o intuito de prolongar sua vida útil e garantir a segurança estrutural. Para tanto, utiliza-se de metodologia qualitativa, efetuando-se a revisão literária a respeito dos fatores que levam à ocorrência da manifestação patológica avaliada (corrosão de armaduras), ampliada potencialmente no ambiente em questão pela elevada concentração de cloreto, umidade em abundância, alta temperatura, presença de oxigênio e elevada densidade de armaduras dentro da estrutura, além da realização de inspeção visual em campo. Os resultados obtidos evidenciaram manifestações patológicas severas, como fissuração, deslocamento da camada de cobrimento, perda de seção das armaduras e eflorescências, especialmente em regiões com falhas de concretagem e cobrimento inadequado. Os resultados indicam que a combinação entre ambiente agressivo e falhas construtivas acelera a corrosão das armaduras, tornando essenciais medidas preventivas e corretivas para preservar a durabilidade e a segurança estrutural.

Palavras-chave: Corrosão de armaduras, Reservatório de água tratada, Cloretos

Abstract: Reinforced concrete, widely used in civil engineering, has shown a significant increase in pathological manifestations, demanding greater attention to its durability and performance. This study aims to assess the conservation status of structures in three large reinforced concrete reservoirs used for treated water distribution, which are affected by chloride ion action. The goal is to propose recommendations to prevent the progression of pathological mechanisms that damage the structures, thus extending their service life and ensuring structural safety. A qualitative methodology was employed, including a literature review on the factors that lead to the pathological manifestation evaluated (reinforcement corrosion), which is potentially amplified in the studied environment due to high chloride concentration, abundant moisture, elevated temperature, presence of oxygen, and high reinforcement density within the structure, as well as visual field inspections. The results revealed severe pathological manifestations, such as cracking, spalling of the concrete cover, loss of reinforcement cross-section, and efflorescence, especially in areas with poor concreting and inadequate cover. The findings indicate that the combination of an aggressive environment and construction deficiencies accelerates reinforcement corrosion, making preventive and corrective measures essential to preserve structural durability and safety.

Keywords: Reinforcement corrosion, Treated water reservoir, Chlorides

1. Introdução

A indústria de captação, tratamento e distribuição de água, utiliza-se de produtos químicos para garantir o atendimento dos padrões de potabilidade de água exigidos pela portaria de consolidação do Ministério da Saúde (MS) nº 5 do ano de 2017. Segundo [1], no processo de tratamento da água, são adicionados produtos químicos com o objetivo de alcançar tais padrões de potabilidade. No entanto, muitos desses produtos são nocivos às estruturas de concreto armado, como é o caso dos íons cloretos (Cl^-), utilizado na etapa de desinfecção do processo que compõe o tratamento da água. Trata-se de um agente dotado de alto poder agressivo, capaz de desencadear a corrosão das armaduras presentes nas estruturas de concreto.

O saneamento básico e suas construções, especialmente nos sistemas de abastecimento de água (SAA), coleta e tratamento de esgoto, utilizam amplamente o concreto armado como elemento estrutural para o armazenamento. Sendo assim, este artigo tem por finalidade, analisar as manifestações patológicas em reservatórios de água tratada com cloro (Cl). De acordo com [1], o sistema de abastecimento de água para consumo humano é a instalação composta por um conjunto de obras civis, materiais e equipamentos, desde a zona de captação até as ligações prediais, destinada à produção e ao fornecimento coletivo de água potável, por meio de rede de distribuição. Deste conjunto de obras civis, materiais e equipamentos citado na Portaria 2.914/2011 do ministério da saúde (MS) fazem parte tubos, bombas, reservatórios, válvulas, comportas, filtros, dentre outros.

Dois elementos dentre estes citados interessarão de forma particular ao desenvolvimento deste artigo: os reservatórios de concreto armado e os produtos químicos, especificamente o cloro. Os principais objetivos do tratamento da água são de ordem sanitária (remoção e inativação de organismos patogênicos e substâncias químicas que representem riscos à saúde), estética e organoléptica (remoção de turbidez, cor, gosto e odor) [2]. A investigação realizada foi determinada pela avaliação da influência da concentração do cloro, como agente agressivo aos reservatórios de concreto armado. As manifestações patológicas em reservatórios, motivadas por esta elevada concentração de cloro residual na água tratada para abastecimento humano, tornam-se um dos principais fatores de degradação estrutural.

2. Revisão Bibliográfica

2.1 O ataque de íons cloreto nos reservatórios de água tratada

Os íons cloretos podem estar no concreto por terem sido incorporados à mistura por meio do uso de agregados contaminados ou pelo uso de aditivos que contêm cloreto. Nenhuma dessas matérias deve ser admitida em concreto armado, e as normas, em geral, prescrevem limites em relação ao teor de cloretos admissíveis no concreto, proveniente de qualquer fonte [3].

Reservatórios de água tratada são ambientes particularmente agressivos, pois combinam alta umidade, temperatura elevada e presença constante de cloro. Os ciclos de molhagem e secagem intensificam a concentração de cloretos nas zonas expostas, especialmente nas superfícies superiores das estruturas, como as lajes de cobertura [4].

Essa exposição contínua ao cloro e à umidade favorece a penetração de íons no concreto, sobretudo quando há pressão hidrostática, como ocorre em reservatórios. Qualquer que seja a origem, os cloretos penetram no concreto pela movimentação da água, devido à tensão superficial nos poros capilares da pasta de cimento hidratado, que absorve a água por sucção capilar [3]. Isso exige a utilização de aditivos impermeabilizantes e boas práticas de execução para reduzir a porosidade e aumentar a durabilidade da estrutura.

2.2 Principais fatores que influenciam na velocidade e na profundidade da penetração dos íons cloreto

2.2.1 Tipo de cimento

O tipo de cimento, utilizado no concreto, influencia diretamente a resistência do concreto à penetração de cloretos. A NBR 12655/2015 estabelece que, para proteger as armaduras do concreto, o valor máximo da concentração de íons cloreto no concreto endurecido, considerando todas as fontes de cloretos provenientes dos seus componentes, não deve exceder os limites estabelecidos na norma. Para estruturas de concreto protendido, o limite é de 0,05%, já para estruturas de concreto armado expostas a cloretos, como reservatórios de água tratada, o valor máximo permitido é de 0,15% sobre a massa de cimento [5]. Em relação à massa de concreto, considera-se como quantidade suficiente de cloretos totais para despassar o aço teores de 0,05% a 0,1%, ainda que possa haver grandes variações de material para material [6]. Cimentos com maior teor de aluminato tricálcico (C_3A) favorecem a formação de compostos insolúveis, como o cloroaluminato de cálcio hidratado (Sal de Friedel), que imobilizam os íons cloreto e reduzem sua ação corrosiva [6].

2.2.2 Quantidade de silicato de cálcio hidratado (CSH)

Quanto maior o teor de CSH, maior a capacidade de fixação dos íons cloreto, o que reduz a velocidade de penetração até a armadura e retarda o início da corrosão [6].

2.2.3 Deficiências na metodologia de concretagem e cura

Em relação à metodologia de concretagem, estão relacionadas, entre outras, as falhas no transporte, no lançamento e no adensamento do concreto, que podem provocar a segregação dos materiais, especialmente entre o agregado graúdo e a argamassa. Essa segregação compromete a homogeneidade da mistura, favorecendo a formação de vazios, cavidades e ninhos de concretagem, que se tornam zonas frágeis e permeáveis no interior da estrutura [7].

O adensamento inadequado, especialmente em concretagens em seções com grande densidade de armaduras, impede a eliminação eficiente do ar aprisionado na massa, resultando em elevada porosidade e comprometimento da resistência mecânica. Além disso, o uso incorreto de vibradores, seja por tempo insuficiente ou pelo uso de equipamentos inadequados, também contribui para esses problemas.

Outro fator crítico está relacionado às fôrmas e escoramentos. A falta de limpeza adequada e a ausência ou má aplicação de desmoldantes podem prejudicar o acabamento superficial e dificultar a desforma. A insuficiência de estanqueidade das fôrmas permite a fuga da nata de cimento, resultando em concreto poroso, com agregados expostos de maneira irregular e suscetível à ação de agentes agressivos. A retirada prematura ou inadequada das fôrmas e dos escoramentos pode, por sua vez, provocar deslocamentos estruturais, fissuras e desagregações localizadas [7].

No que se refere à cura do concreto, sua negligência ou execução inadequada é uma das principais causas de microfissuração por retração plástica e térmica, além de comprometer a hidratação adequada do cimento. Métodos de cura ineficientes, como a ausência de proteção contra a evaporação da água ou a interrupção precoce do processo, reduzem significativamente a resistência mecânica e a durabilidade do concreto, tornando-o mais vulnerável à penetração de agentes agressivos, como íons cloreto, sulfatos e dióxido de carbono.

Portanto, deficiências nos processos de concretagem e cura comprometem não apenas o desempenho estrutural imediato, mas também aceleram os mecanismos de deterioração, diminuindo a vida útil das estruturas e elevando os custos com manutenção e reparo.

2.2.4 Teor de umidade

A umidade nos poros do concreto é essencial para o desenvolvimento do processo corrosivo. Em estruturas constantemente úmidas, a migração de óxidos para a superfície é comum, resultando em manchas ferruginosas visíveis [8].

2.2.5 Temperatura

A temperatura influencia o transporte dos íons no interior do concreto. Em temperaturas elevadas, ocorre maior mobilidade das moléculas, o que acelera a penetração dos cloretos [6]. Já em ambientes mais frios, a maior retenção de umidade nos poros do concreto pode criar condições favoráveis à corrosão, uma vez que a presença contínua de água potencializa os processos eletroquímicos associados à degradação das armaduras [8].

2.2.6 Relação água/cimento e cobertura de proteção da armadura

Uma relação água/cimento baixa reduz a porosidade do concreto, aumentando sua resistência ao ingresso de cloretos. Além disso, a espessura do cobrimento e sua execução adequada são fundamentais para a proteção física e química da armadura [6].

2.2.7 Abertura de fissuras

Fissuras são inevitáveis em estruturas de concreto armado, devido à grande variabilidade e à baixa resistência do concreto à tração e quando não controladas, permitem a entrada direta de íons cloreto, acelerando o processo de corrosão [9]. Essa vulnerabilidade é ainda maior em estruturas que armazenam água tratada com alta concentração de cloro.

2.2.8 Sistema de impermeabilização e seus impactos na penetração de íons cloreto

A ausência ou a aplicação inadequada do sistema de impermeabilização em reservatórios pode favorecer a penetração de agentes agressivos na estrutura de concreto, como os íons cloretos. Essa vulnerabilidade pode ser intensificada por gradientes térmicos elevados, que aceleram a mobilidade iônica no interior do concreto. Por outro lado, em reservatórios destinados ao armazenamento de água potável, é necessário considerar a compatibilidade entre os sistemas de impermeabilização e os requisitos sanitários. Estudos como o apresentado em [10] indicam que, apesar da presença prolongada de água em contato com manta asfáltica, não foram identificadas alterações significativas nos padrões de potabilidade da água conforme os limites estabelecidos pela Portaria de consolidação nº 5/2017, do Ministério da Saúde. Ainda assim, ressalta-se a importância de futuras pesquisas para aprofundar a avaliação de possíveis interações entre impermeabilizantes e a qualidade da água, considerando diferentes materiais, condições de aplicação e tempo de exposição.

Dessa forma, o uso de impermeabilização adequada, com manutenção periódica e materiais certificados para contato com água potável, é fundamental tanto para a durabilidade da estrutura quanto para a segurança sanitária do sistema de abastecimento.

2.3 O ataque de íons cloretos nos reservatórios de água tratada

2.3.1 Alta concentração de cloro

A Portaria de consolidação nº 5/2017 do Ministério da Saúde exige uma concentração mínima de 0,2 mg/L de cloro livre em qualquer ponto da rede de distribuição de água potável. Isso implica que os reservatórios armazenam água com altas concentrações de cloro logo após o processo de desinfecção. Os reservatórios de água tratada analisados nesta pesquisa tratam-se, portanto, dos elementos do SAA que armazenam volumes de água contendo as mais altas concentrações de cloro em sua composição.

2.3.2 Presença de camada de oxigênio confinado

Entre a superfície da água e a laje de cobertura dos reservatórios forma-se uma camada de ar com oxigênio, elemento essencial para o desenvolvimento da corrosão. Esse ambiente, somado à presença de cloretos, intensifica o ataque às armaduras.

2.4 Densidade de armadura e falha de concretagem

A densidade elevada de armadura, devido aos momentos fletores elevados na laje de cobertura, dificulta o posicionamento correto das barras e compromete o cobrimento. Isso favorece a entrada de agentes agressivos, especialmente em estruturas antigas com execução deficiente, onde espaçadores não eram utilizados corretamente. Falhas na concretagem, como má compactação ou segregação, causam fissuras indesejadas, abrindo caminho para o oxigênio e a umidade penetrarem no concreto. Isso acelera a formação de diferenciais de potencial entre as armaduras e inicia o processo de corrosão [11].

2.5 Corrosão da armadura

A corrosão no interior do concreto armado ocorre por mecanismos eletroquímicos. Uma diferença de potencial entre regiões da armadura leva à movimentação de elétrons e à consequente formação de ferrugem, que expande e compromete o cobrimento [8]. O processo se desenvolve quando há presença de eletrólito (água nos poros) e oxigênio, principalmente se na água houver concentração de cloretos [12].

Mesmo com pH elevado, característico do concreto, os íons cloreto são capazes de despassivar as armaduras, iniciando a corrosão antes da carbonatação ou de outros mecanismos químicos [6]. Cloretos podem estar presentes de diversas formas no concreto, combinados quimicamente, adsorvidos ou livres. Estes últimos são os mais agressivos, pois têm maior mobilidade e capacidade de atingir diretamente a armadura. Por isso, é importante considerar tanto os cloretos totais quanto os livres nas avaliações [6].

3. Estudo de caso

De acordo com [13], reservatório de distribuição é o elemento do SAA destinado a regularizar as variações entre as vazões de adução e de distribuição e condicionar as pressões na rede de distribuição. Estas estruturas podem ser classificadas, de acordo como foram construídas, como um reservatório elevado (REL), um reservatório apoiado (RAP) ou um reservatório enterrado (REN).

A estrutura estudada trata-se de um grande reservatório de água tratada em concreto armado componentes do SAA da cidade de Carpina, localizado no Estado de Pernambuco. A obrigatoriedade da manutenção de, no mínimo, 0,2 mg/L de cloro residual livre em toda a extensão do sistema de distribuição de água de acordo com o artigo 34 da Portaria de consolidação nº 5/2017 do Ministério da Saúde, implica considerar durante o tratamento não apenas a concentração de cloro necessária ao atendimento aos padrões de potabilidade da água após a etapa de desinfecção, mas também levar em consideração as perdas e as contaminações no sistema de distribuição.

Visando garantir a concentração mínima de 0,2 mg/L em qualquer ponto na rede de distribuição de água potável, naturalmente a concentração de cloro residual é maior imediatamente após a sua aplicação nas estações de tratamento. O reservatório aqui apresentado é a unidade do seu respectivo sistema de abastecimento de água que armazena o volume de água potável a ser distribuído para o consumo.

3.1 Caracterização da estrutura

Trata-se de um reservatório do tipo elevado, com aproximadamente 40 anos de uso, construído em concreto armado, cuja resistência mecânica à compressão foi determinada por ensaios com corpos de prova realizados à época da concretagem, apresentando valor médio de 25 MPa. A estrutura integra o Sistema de Abastecimento de Água (SAA) da cidade de Carpina, no estado de Pernambuco, e está localizado na Rua Firmino Oliveira, no mesmo terreno do Grêmio Recreativo da Companhia Pernambucana de Saneamento (COMPESA).

Constitui-se de uma construção em formato cilíndrico com altura total aproximada de 16 metros, apoiada sobre um conjunto de 16 vigas radiais concêntricas sob a laje de fundo do reservatório, 16 pilares e 4 vigas em anel unindo os pilares, apresentando unidade de reservação com diâmetro de 12 metros e altura de 5 metros. Seu volume de acumulação aproximado é de 2.000 metros cúbicos, conforme mostra a Figura 1.

Figura 1 - REL do SAA da cidade de Carpina denominado R-2



3.2 Identificação das manifestações patológicas existentes

A inspeção técnica ao reservatório foi assistida pela equipe local responsável pela operação e manutenção da unidade. Na oportunidade foram verificadas as manifestações patológicas existentes na estrutura que descreve-se a partir deste instante:

Fundação: O reservatório não apresenta nenhum indício de instabilidade ou comprometimento de seu funcionamento e sua durabilidade decorrente de manifestações patológicas oriundas de sua infraestrutura.

Superestrutura: Apresenta sinais de corrosão das armaduras, com indesejável exposição das barras de aço ao ambiente externo, decorrente de sua expansão, da fissuração e do deslocamento da camada de cobrimento, especialmente na superfície externa da laje de fundo (sobretudo em sua borda), nas vigas de sustentação, nos pilares e nas vigas em anel do reservatório.

Estrutura para reservação: Fortemente agredida pela ação de íons cloreto, apresenta deslocamento do concreto da camada de cobrimento das armaduras na maior parte da laje de cobertura do reservatório, como apresentado na Figura 2. Nestes pontos também se observa corrosão e perda de seção das armaduras. Em alguns pontos da laje de cobertura onde a armadura está exposta. Conforme será mostrado na Figura 3, as colunas de sustentação da laje de cobertura, responsáveis também por permitir a ventilação no interior do reservatório, apresentam-se com alto grau de agressão pelos cloretos. Notadamente pode-se observar nestes elementos perda de seção do concreto e das armaduras, por rompimento de estribos detectados na inspeção visual. Foi observada a presença de algumas infiltrações na estrutura, sobretudo através de fissuras existentes na laje de fundo. Foi visualizado também, o aparecimento de eflorescências na superfície externa das paredes e da laje de fundo da estrutura para reservação, que denotam a existência de pequenas infiltrações através de fissuras, dos poros do concreto e nos pontos onde ocorreram juntas de concretagem. Vale salientar que devido a limitação dos responsáveis, não foi possível realizar ensaios, ficando a pesquisa limitada em inspeção visual, o qual não diminui a possíveis falhas encontradas na estrutura estudada.

Embora o projeto estrutural deste reservatório não esteja acessível à realização deste estudo, julga-se que nesta região exista uma viga que suporta o peso das paredes do reservatório. As barras da armadura nesta região supostamente são de maior diâmetro que as utilizadas nos demais pontos da laje de fundo e, caso não tenha havido a utilização de espaçadores entre as barras e a fôrma em toda a extensão da laje quando do lançamento do concreto, é possível que a camada de cobrimento na região de sua borda, onde supõe-se que exista uma viga, tenha ficado ainda menor que no restante da laje.

A falta de cuidados na execução das juntas de concretagem também contribuiu para a ocorrência de infiltrações através dos poros e das juntas de concretagem das paredes da unidade de reservação e o aparecimento de eflorescências na superfície externa da estrutura.

Figura 2: Deslocamento da camada de cobrimento e corrosão de armaduras no interior da laje de cobertura do REL do SAA da cidade de Carpina denominado R-2.



Figura 3: Corrosão das armaduras dos pilares de sustentação da laje de cobertura do REL do SAA da cidade de Carpina denominado R-2



4. Análise dos resultados

A avaliação dos indícios observados durante a inspeção visual, aponta como possíveis causas das manifestações patológicas a porosidade excessiva do concreto, presente desde a construção do reservatório. Essa condição pode estar relacionada à escolha ou mistura inadequada dos materiais de construção, o que é compreensível ao se considerar a idade da edificação, que, segundo funcionários, ultrapassa 40 anos. À época, as normas técnicas vigentes não contemplavam as recomendações atuais referentes à classe de agressividade ambiental.

Além disso, identificaram-se indícios de excesso de água de amassamento e/ou cura deficiente, fatores que comprometem significativamente a qualidade do concreto. Observou-se também cobrimento nominal insuficiente das armaduras em diversos pontos do elemento estrutural, assim como a inobservância do espaçamento mínimo entre barras em determinados trechos. Essa condição criou obstáculos à execução da estrutura, gerando uma distribuição heterogênea dos materiais, um aspecto sem dúvida indesejável, mas justificável no contexto das práticas construtivas da época.

Acredita-se que a falta de cuidados na execução das juntas de concretagem também tenha contribuído para a ocorrência de infiltrações, devido à elevada porosidade observada nessas regiões. Eflorescências são visíveis na face externa da laje de fundo do reservatório e nas vigas que a sustentam, indicando a ocorrência de lixiviação, provocada pela percolação da água armazenada através de fissuras existentes na própria laje de fundo. Não foram encontrados indícios de que tenham sido realizadas manutenções preventivas ou corretivas anteriores na estrutura do reservatório, com o objetivo de combater ou controlar as manifestações patológicas já identificadas. As patologias observadas se apresentam em estágio avançado e preocupante de evolução e deterioração, com tendência de agravamento progressivo, especialmente nas regiões onde há deslocamento generalizado do concreto.

Não há camada de impermeabilização no interior do reservatório, condição que favorece a percolação da água armazenada na estrutura de concreto e o desenvolvimento de outras manifestações patológicas, tais como as reações expansivas.

Diante do conjunto de manifestações patológicas observadas e de seu avançado estado de deterioração, recomenda-se a elaboração de um plano de intervenção corretiva que contemple, no mínimo: a remoção do concreto contaminado e deslocado; o tratamento das armaduras expostas por meio de limpeza mecânica e aplicação de inibidores de corrosão ou passivadores específicos; e a recomposição das seções afetadas com argamassas de reparo estruturais, compatíveis com o substrato. Sugere-se ainda a aplicação de sistema de impermeabilização interno, com produtos tecnicamente compatíveis com água potável, visando minimizar a percolação de água e, conseqüentemente, o avanço da deterioração. A adoção de um plano de manutenção preventiva periódica também se mostra essencial para o monitoramento do desempenho da estrutura e o prolongamento de sua vida útil.

5. Considerações finais

Este artigo avaliou as manifestações patológicas apresentadas no reservatório de água tratada integrante do sistema de abastecimento da cidade de Carpina - PE, provocadas por um ambiente saturado de íons cloreto, cuja agressividade foi potencializada por fatores como a elevada umidade, a alta temperatura do ambiente onde a água é armazenada, além de aspectos inerentes à própria estrutura, como porosidade, espessura insuficiente da camada de cobertura das armaduras, ausência de impermeabilização e carência de manutenção preventiva das unidades.

Foi discutida a temática relativa aos sistemas de abastecimento de água e à necessidade de atendimento ao normativo do Ministério da Saúde no que diz respeito aos padrões de qualidade da água, inclusive no tocante à utilização do cloro e sua concentração mínima em qualquer ponto na rede de distribuição, com vista a garantir o consumo de água potável pela população.

O caso avaliado nesta pesquisa, além dos aspectos relacionados ao ambiente fortemente agressivo devido à presença do cloro e aos outros fatores agravantes próprios a um reservatório de água tratada, observou-se que algumas anomalias também apresentam relação com os procedimentos adotados durante a construção das estruturas. É possível que algumas das manifestações patológicas tenham origem ainda na etapa de concepção do projeto dos reservatórios estudados.

A ausência de uma cultura voltada à execução de práticas de manutenção preventiva às estruturas, evidenciada ao se constatar “improvisações”, presença de vegetação nos elementos estruturais, desgaste de aparelhos de apoio e juntas de dilatação, bem como camadas de pinturas de proteção desgastadas, leva ao agravamento dos problemas existentes e à possibilidade do desenvolvimento de outras manifestações patológicas. Além da necessidade de aporte de um montante maior de recursos para combate aos efeitos negativos que se agravaram ao longo do tempo.

Referências

- [1] BRASIL. Ministério da Saúde. *Portaria de Consolidação nº 5, de 28 de setembro de 2017*. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Anexo XX. *Diário Oficial da União*, Suplemento, Seção 1, Brasília, DF, 3 out. 2017, p. 415.
- [2] BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. *Boas práticas no abastecimento de água : procedimentos para a minimização de riscos à saúde*. Brasília: Ministério da Saúde, 2006.
- [3] NEVILLE, A. M. *Propriedades do Concreto*. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2015. 912 p.
- [4] BISSA, Rodrigo César Rissari. *Sistemas de impermeabilização e proteção de estruturas de concreto armado de reservatórios de água tratada atacados por cloretos*. Belo Horizonte, 2008. Monografia apresentada como requisito para a obtenção do título de Especialista em Construção Civil. Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG).
- [5] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12655: *Concreto de cimento Portland - Preparo, controle, recebimento e aceitação - Procedimento*. Rio de Janeiro, 2015.
- [6] SILVA, Fernanda Giannotti. *Estudo de concretos de alto desempenho frente à ação de cloretos*. São Carlos, 2006. Tese de doutorado em Ciência e Engenharia dos Materiais. Interunidades em Ciência e Engenharia dos Materiais, Universidade de São Paulo (USP).
- [7] SOUZA, Vicente Custódio Moreira e RIPPER, Thomaz. *Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto*. 1 ed. 5ª. tiragem. São Paulo: Editora Pini Ltda., 2009. 257 p.
- [8] ARAÚJO, Rodrigo Augusto Moreira e SILVA FILHO, Antônio Freitas da. *Corrosão de armaduras por íons cloreto*. Salvador, 2009. Artigo. Universidade Católica do Salvador (UCSAL).
- [9] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6118: *Projeto de estruturas de concreto - Procedimento*. Rio de Janeiro, 2014.
- [10] CHAMORRO, Samantha da Silva. *Análise físico-química da água de reservatórios impermeabilizados com manta asfáltica*. 2016. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Centro Universitário de Brasília – UniCEUB, Brasília, 2016.
- [11] MEDEIROS, Marcelo Henrique Farias de. *Contribuição ao estudo da durabilidade de concretos com proteção superficial frente à ação de íons cloretos*. São Paulo, 2008. Tese de doutorado em Engenharia de Construção Civil e Urbana. Escola Politécnica, Universidade de São Paulo (USP).
- [12] FIGUEIRÓ, André Tadeu Moreno; GREGORIO, Lilian Quattrone; CALOU, Virgínia Maria. *Estudo comparativo entre sistemas de proteção contra a*

penetração de cloretos na face interna de lajes de reservatórios de água potável. São Paulo, 2010. Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de pós-graduação em patologia das obras civis. Instituto IDD.

- [13] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 12217: Projeto de reservatório de distribuição de água para abastecimento público.* Rio de Janeiro, 1994.