

# ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA DA PRODUÇÃO CIENTÍFICA BRASILEIRA SOBRE PATOLOGIAS OBSERVADAS EM ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ÁGUA

## BIBLIOMETRIC ANALYSIS OF BRAZILIAN SCIENTIFIC PRODUCTION ON PATHOLOGIES OBSERVED IN WATER TREATMENT STATIONS

Juliana Sandrely da Silva<sup>1</sup>  
Simone Perruci Galvão<sup>2</sup>  
Maurício Pimenta Cavalcanti<sup>3</sup>

### RESUMO

Este trabalho trata-se de uma revisão bibliográfica narrativa sobre o levantamento das principais manifestações patológicas encontradas nas Estações de Tratamento de Água (ETA) e suas origens, causas e mecanismos. O meio aquoso juntamente com os reagentes utilizados para o tratamento da água a qual as estruturas de concreto armado estão inseridas nas unidades de tratamento, é um facilitador para ação dos agentes agressivos, intensificando os seus mecanismos de ação e seus efeitos deletérios, propiciando o surgimento de manifestações patológicas. Após análise, discussão e embasamento teórico proporcionado por pesquisas científicas acerca do tema, foi realizada, por meio do emprego da matriz de priorização GUT, a visualização do grau de criticidade das manifestações discutidas com a finalidade de relacionar às anomalias com sua prioridade de resolução. Assim, observou-se que os elementos estruturais que são atingidos por corrosão da armadura devem ser priorizados devido ao grau de risco e necessidade urgente de intervenção. também foi possível visualizar os mecanismos de atuação dos agentes agressivos e relevância da tratativa de manifestações propiciados pelo desgaste superficial por erosão, lixiviação, mecanismos associados à formação das fissuras e carbonatação. Os locais com maior incidência de manifestações foram os tanques com adição de compostos químicos em sua fase de tratamento. A extrema importância das manutenções corretivas fica evidente, enquanto destaca-se ainda mais a necessidade de cumprimento efetivo das manutenções preventivas.

**Palavras-chave:** estação de tratamento de água; manifestações patológicas; matriz GUT; estruturas de concreto.

---

<sup>1</sup> Bacharelanda em Engenharia Civil - Universidade Federal Rural de Pernambuco – Unidade Acadêmica do Cabo de Santo Agostinho

<sup>2</sup> Orientadora do Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Civil – Universidade Federal Rural de Pernambuco – Unidade Acadêmica do Cabo de Santo Agostinho

<sup>3</sup> Coorientador do Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Civil – Universidade Federal Rural de Pernambuco – Unidade Acadêmica do Cabo de Santo Agostinho

## ABSTRACT

This work is a narrative bibliographic review on the survey of the main pathological manifestations found in Water Treatment Plants (WTP) and their origins, causes and mechanisms. The aqueous environment in which the reinforced concrete structures are inserted in the treatment units is a facilitator for the action of aggressive agents, intensifying their action mechanisms and their deleterious effects, providing the appearance of pathological manifestations. After analysis, discussion and theoretical basis provided by scientific research on the subject, the visualization of the degree of criticality of the manifestations discussed was performed, through the use of the GUT prioritization matrix, in order to relate the anomalies with their priority for resolution. Thus, it was observed that the structural elements that are affected by corrosion of the reinforcement should be prioritized as to the degree of risk and intervention. It was also possible to see the relevance of treating pathological manifestations such as surface wear by erosion, leaching, cracking and carbonation. The extreme importance of corrective maintenance is evident, while the need for effective compliance with preventive maintenance is even more highlighted.

**Keywords:** water treatment station; pathological manifestations; GUT matrix; concrete structures.

## INTRODUÇÃO

É de conhecimento comum que a água potável é indispensável para o desenvolvimento econômico, social e político de um país, mas principalmente para o estabelecimento de condições básicas de vida para todo e qualquer ser humano. No entanto, o estado em que a água é captada dos mananciais não é próprio para consumo por conter partículas suspensas e coloidais, matéria orgânica, microrganismos e substâncias possivelmente nocivas à saúde (BOTERO, 2009). Devido a isso, faz-se necessário que a água destinada ao consumo humano obedeça aos padrões de qualidade vigentes estabelecidos pela Portaria nº 2914, de 12 de Dezembro de 2011 (BRASIL, 2011), tornando seu consumo seguro.

Para o atendimento de tais critérios, a Estação de Tratamento de Água (ETA) torna-se mais que relevante, utilizando diversos processos para alcançar este fim. O sistema convencional de tratamento compreende as seguintes etapas: coagulação, floculação, decantação, filtração, além da correção do pH, desinfecção e fluoretação.

Do ponto de vista técnico, é possível a potabilização de qualquer tipo de água. No entanto, a depender do afluente recebido, necessita-se do emprego, por vezes, de técnicas mais onerosas ou da adição ainda mais significativa de compostos químicos para desinfecção e obtenção dos parâmetros requeridos. Deste modo, é comum que as etapas de tratamento sejam agressivas ao local onde ocorrem, ou seja, para as estruturas de concreto armado, podendo colocar em risco tanto a durabilidade quanto a operação das unidades de saneamento.

Para elaboração de um projeto de ETA é fundamental o conhecimento das características físicas, químicas e biológicas da água. A escolha de um concreto adequado, atendendo às especificidades do objeto, garante as vantagens técnicas e econômicas para a construção da estrutura (NEVILLE, 2016). Além destes aspectos, o controle da execução dos serviços e a adequação dos vários outros sistemas construtivos e elementos, devem ser bem dimensionados e atender às suas normas específicas. Nestes aspectos, destacam-se: o controle executivo do concreto: mistura,

lançamento, adensamento e cura, a execução de juntas, o sistema de impermeabilização e o dimensionamento estrutural.

Ainda assim, com o decorrer do tempo e utilização, haverá o aparecimento de manifestações patológicas como bem prevê a NBR 6118 (2014), referente à projeto de estruturas de concreto, quando esclarece que a vida útil do projeto será equivalente ao período de tempo em que se mantêm o desempenho e características da estrutura, atendendo aos requisitos de uso e manutenção prescritos por esta referida norma.

As manifestações patológicas em estruturas de concreto armado, como a oxidação das armaduras, devido ao processo de corrosão de armaduras, quando não monitoradas e tratadas, podem levar ao colapso estrutural. Mehta e Monteiro (2008) reconhecendo que a água é um dos agentes mais deletérios ao concreto armado, confirma a ocorrência de processos físicos e químicos de degradação, como meio de transporte para diversas substâncias potencialmente danosas para o substrato, através dos poros contidos no material.

Ainda assim, não é raro que a deterioração estrutural de importantes elementos do sistema de tratamento de água seja cenário comum vivenciado e muitas vezes negligenciado pelas prestadoras de serviço, responsáveis pelo uso e manutenção. O que contribui para o desgaste natural das peças, aumentando a velocidade de danos e facilitando a propagação de um conjunto ainda maior de afecções. Todos os fatores relacionados corroboram para um estado de degradação progressiva, reduzindo potencialmente os níveis de eficácia de cada etapa de tratamento instituída (ACHON, 2008).

Dito isso, é de fácil compreensão a relevância do cuidado e atenção aos fatores intervenientes no desempenho das estações de tratamento de água. É nesse contexto, que o trabalho apresentado visa a identificação das sintomatologias, causas,

origens e mecanismos deletérios mais comuns em sistemas de tratamento de água, com o intuito de elucidar os principais pontos, alertando aos prestadores para as afecções, evitando grandes danos e colapsos.

A abordagem da temática justifica-se haja vista que o estabelecimento contínuo de água potável, a diminuição de tarifas e a continuidade de desenvolvimento do saneamento brasileiro perpassa ao reconhecimento dessas manifestações e a implantação de manutenções nos sistemas operacionais de tratamento de água.

## METODOLOGIA

Para realização do trabalho exposto foi efetuada pesquisa em bases de dados relevantes, como meio eletrônico, consultas a livros, dissertações e publicações de boletins, a fim de traçar um quadro teórico da situação discutida e gerar a estruturação conceitual necessária para o embasamento técnico do artigo. Objetivando retratar o cenário atual, esta análise literária foi refinada para o período compreendido entre 2010 à 2021.

Após compilação dos dados selecionados e observação crítica dos resultados encontrados referente às origens, causas, efeitos, mecanismos e prognósticos, buscou-se a aplicação da metodologia da Matriz GUT – Matriz das prioridades – sobre as manifestações patológicas mais citadas em estações de tratamento de água, para obter melhor compreensão da conjuntura apresentada.

Este método baseia-se em três critérios, de onde origina-se a sigla que o nomeia, para observância de criticidade: Gravidade, Urgência e Tendência. A ferramenta criada por Kepner e Tregoe auxilia na resolução de questões organizacionais e tem como fim a orientação na tomada de decisão (KEPNER & TREGOE, 1981). Possui, portanto, a vantagem de ser de fácil compreensão e aplicação, encaixa-se em inúmeras finalidades e viabiliza a constatação quantitativa de fatores

qualitativos, formação de estratégias e uma eficiente observância da problemática em questão.

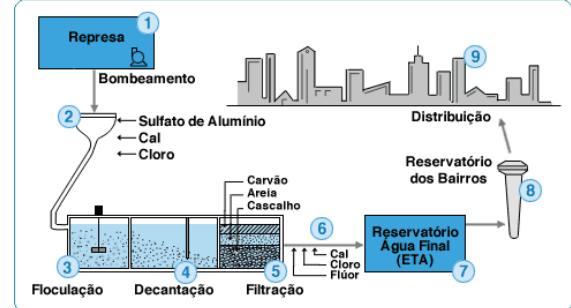
A matriz de priorização GUT conta com a necessidade de análise técnica da circunstância, pois exige uma pontuação para cada parâmetro de avaliação (Gravidade, Urgência e Tendência), podendo variar de 1 a 5, sendo atribuído o valor 1 para uma manifestação patológica com menor gravidade e 5 para casos extremamente graves, tendo posteriormente a obtenção do resultado através da multiplicação destas pontuações.

## ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA

Para definição e instalação de uma estação de tratamento de água muitos fatores são levados em consideração. São algumas das variáveis que influenciam no processo: o volume atendido, a localidade, o tipo de tecnologia, materiais, equipamentos a que se tem acesso, a disposição e dimensionamento das unidades de tratamento (NBR 12216, 1992).

O sistema de ciclo completo é o que prevalece no país e é considerado como o sistema convencional para o tratamento e potabilização da água destinada a abastecimento público (BERNARDO; SABOGAL PAZ, 2008). Este sistema estabelece a aplicação de processos físico-químicos à água bruta retirada dos mananciais, promovendo sua clarificação com etapas de: coagulação, floculação, decantação e filtração. Em sequência, visando garantir a potabilidade, é adicionada ainda a etapa de desinfecção como responsável por eliminar os microrganismos patogênicos que restaram, como demonstra a Figura 1.

Figura 1 - Etapas do sistema convencional de tratamento de água



Fonte: Sabesp (2021)

O concreto armado está presente em cada fase do tratamento, pois as etapas mencionadas são realizadas dentro de tanques desse mesmo material que, cada qual com sua finalidade, recebe em meio ao processo de tratamento do afluente adições químicas que afetam diretamente o seu substrato.

Inicialmente, logo após a captação no manancial e através de bombas, temos as etapas de coagulação e floculação. Sendo a primeira operação do sistema, tem o encargo de lançar e misturar produtos químicos na água bruta que chega à unidade de tratamento. Levada para o primeiro tanque, recebe adição de elementos químicos como, por exemplo, o sulfato de alumínio ( $Al_2(SO_4)_3$ ) e hidróxido de cálcio ( $Ca(OH)_2$ ). Podendo, a mistura, ser realizada por meio de misturadores mecanizados ou ressaltos hidráulicos. A aeração do líquido de forma constante é característica inerente ao processo.

A água com adições é direcionada para os tanques onde ocorre a mistura lenta, denominados floculadores. Tais unidades, comportam cerca de três compartimentos onde se tem um fluxo imposto pelo sistema de agitação e com velocidade entre 10 cm/s e 30 cm/s, conforme exige a norma vigente (NBR 12216, 1992). Segundo Macedo (2007), esse estágio tem extrema relevância dentro do tratamento, pois faz-se necessária a desestabilização química das partículas encontradas na água bruta, para que assim haja a possibilidade de aglutinação e sedimentação,

contribuindo favoravelmente para a etapa seguinte do tratamento.

O agrupamento gera partículas maiores e mais pesadas. Este processo inicia-se após a formação e precipitação do hidróxido de alumínio ( $Al_2(OH)_3$ ), reação originada da junção dos dois primeiros elementos.

A decantação é a operação do sistema de tratamento que utiliza a força gravitacional para garantir sua eficiência e pode ocorrer de forma contínua ou descontínua. Com o gel formado na etapa anterior sendo insolúvel em água, essa mistura acumula no fundo dos tanques decantadores permitindo o escoamento da água parcialmente clarificada através de saídas localizadas na parte superior dos mesmos. Atrelado à isso, contém dispositivo para remoção desse material cumulante após período definido em projeto (BERNARDO, 2005).

A otimização dos estágios supracitados reflete na redução das dosagens de coagulantes adicionados à água e, por efeito, estendem os períodos de manutenção preventiva e corretiva do sistema (LIBÂNIO, 2010).

A camada filtrante é constituída de materiais porosos granulares, como areia fina, areia grossa, cascalho, pedregulho e carvão ativado. Esta etapa tem a finalidade de retirar as impurezas menores ainda presentes na água e garantir tanto a clarificação total quanto o melhoramento no nível de qualidade da água entregue. Dentro dos tanques de concreto armado, as camadas filtrantes costumam variar de 50 a 75 cm e é nos 30 cm iniciais onde há a predominância da remoção de sólidos. Os três mecanismos responsáveis pela remoção das partículas são o transporte, a aderência e os processos microbiológicos (SÁ, 2006).

A camada do biofilme que permite os processos microbiológicos é formada principalmente por partículas inertes, matéria orgânica e microrganismos, tais como as bactérias e protozoários. As bactérias formam grandes colônias e atrelam-se aos grãos de areia adsorvendo

assim as partículas presentes na água. Em paralelo, alguns microrganismos produzem polímeros extracelulares que permitem a aderência das partículas no meio filtrante e melhoram a eficiência do filtro (JELLISON, 2000 apud FARIAS, 2011).

O autor também explica que apesar destes agentes biológicos serem responsáveis pelo auxílio na filtração da água, ajudam também nas ações deletérias contra os agregados e a pasta de cimento, interferindo na estética, reduzindo a sua durabilidade e comprometendo a sua integridade.

A etapa de cloração, como processo de desinfecção, tem como objetivo a adequação aos parâmetros exigidos e a prevenção de danos à saúde do consumidor (HELLER e PÁDUA, 2006). A água que chega aos reservatórios de concreto armado nessa etapa tem como principal característica a presença de cloro ( $Cl_2$ ). O intuito desse processo é que a substância elimine quaisquer microrganismos patogênicos ainda presentes. Além do cloro, também são adicionados compostos à base de flúor e hidróxido de cálcio, sendo este último para correção final do pH. A adição de flúor se dá com o uso de fluoreto de cálcio ( $CaF_2$ ) ou de fluoreto de sódio ( $NaF$ ) e sua aplicação é uma forma preventiva e eficaz de minimização da incidência de cáries dentárias na população abastecida.

Apesar de todos esses agentes exercerem influência e dano sobre as estruturas de concreto, a velocidade de degradação é proporcional à quantidade e concentração dos elementos em contato, devido a interações entre os agentes e os constituintes da pasta de cimento (KUDLANVEC JUNIOR, 2018).

Tais adições são previstas e dosadas de acordo com cada unidade, devendo ser consideradas durante o projeto e construção das estruturas. São definidas mediante a necessidade de utilização para que o afluente captado, após tais processos, tenha suas características biológicas e físico-químicas dentro dos padrões de

potabilidade exigidos pelos órgãos responsáveis. Sendo assim, variam a depender de cada corpo hídrico fornecedor e parâmetros mínimos exigidos. O cloro, por exemplo, deve um teor mínimo de 0,2mg/L e máximo de 5mg/L em qualquer ponto da rede (BRASIL, 2017).

Vale ressaltar que o meio aquoso atrelado ao potencial de agressividade dessas concentrações, exige que sejam aplicados cuidados específicos para que se consiga atender o desempenho desejado e a durabilidade prevista dessas estruturas.

### **PRINCIPAIS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS ENCONTRADAS EM ETAs**

Para todo e qualquer material, incluindo-se o concreto armado, quando utilizado em obras, devem atender a certos parâmetros de projeto, atendendo as especificações de normas técnicas. Estas exigências existem para que se atenda ao desempenho e a durabilidade esperada ao longo da vida útil de projeto. Atingir a tão buscada durabilidade de 50 anos de uma estrutura é uma tarefa árdua e dependente de diversas variáveis.

Faz-se, então, imprescindível que haja atenção às fases de planejamento, projeto, execução, uso e manutenção dessas peças. A falha em qualquer ponto ocasiona um desequilíbrio prejudicial, gerando um ambiente favorável para o surgimento de manifestações patológicas. Como consequência, temos o comprometimento e maior probabilidade de que haja a diminuição da vida útil estimada em projeto e, no caso de estações de tratamento de água, da qualidade de operação e tratamento adequado de todo o sistema.

Em especial, as estruturas expostas a meio aquoso e agressivo exigem critérios mais rígidos para o alcance do equilíbrio desejado e tem a necessidade de cuidados específicos que, se dispensados, afetarão negativa e exponencialmente toda a estrutura. Anormalidades podem surgir

originadas por alterações físicas e químicas, tanto de fator externo quanto interno, alterando também a capacidade original da estrutura (BERTOLINI, 2010). Apesar da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) não dispor de uma norma específica referente ao projeto e execução de estruturas de concreto armado para obras de saneamento, a COPASA (Companhia de Saneamento de Minas Gerais), elaborou uma norma própria onde discrimina as recomendações técnicas para o projeto e execução de estruturas de concreto armado para estas obras. Conforme apresentado nas Tabelas 1 e 2, alguns valores mínimos são superiores aos encontrados na NBR 6118, a fim de atender às solicitações específicas do ambiente ao qual o concreto ficará exposto e trabalhar a favor da segurança e durabilidade da estrutura.

Tabela 1 - Critérios mínimos para a qualidade do concreto

QUALIDADE DO CONCRETO		
Parâmetros	Tipo	Para utilização em ETA
Relação A/C	CA ou CP	$\leq 0,50$
Classe de concreto (fck)	CA ou CP	$\geq C35$

Fonte: COPASA (2018)

Tabela 2 - Critérios mínimos para o cobrimento da armadura

COBRIMENTO DA ARMADURA		
Estrutura	Componente ou elemento	Cobrimento Nominal
Para utilização em ETA	Laje de fundo	3,5 cm
	Paredes, vigas e pilares	4,0 cm
	Vigas superiores e face inferior da laje de cobertura	4,5 cm

Fonte: COPASA (2018)

Todos os processos inerentes à execução e uso desses elementos construtivos devem atender critérios estabelecidos por norma, NBR 12216 (1992), e observar suas devidas manutenções, visto que, em função de sua finalidade e reconhecendo a adição de elementos químicos no tratamento, as estruturas de concreto armado deste local são submetidas a um alto teor de agressividade.

De acordo com HELENE (1988), como resultado das manifestações patológicas, pode-se testemunhar o aparecimento de sintomatologias externas características, conforme o estabelecimento dessas ações destrutivas na estrutura. Elas podem ser expressas através de fissuras, desagregações, corrosões, deslocamentos, eflorescências, sendo, de modo geral, lesões, danos ou defeitos que precisam ser descritos e classificados, orientando um primeiro diagnóstico e direcionando os responsáveis para a solução mais assertiva referente a cada caso.

Dificilmente tais manifestações irão apresentar apenas uma causa. Sendo, em sua maioria, resultado do somatório sinérgico de diversos fatores, como deficiências de projeto, irregularidades na execução, mão de obra desqualificada, baixa qualidade dos materiais empregados ou utilização inadequada dos mesmos (MONTEIRO, 2020).

Segundo Souza e Ripper (1998), algumas patologias de deterioração são denominadas extrínsecas por começarem seu processo deletério “de fora para dentro”; enquanto as que tem seu início no interior da estrutura, são as intrínsecas. Dentro deste cenário, o surgimento de possíveis manifestações patológicas, instaladas no local, podem ter sua origem já nos primeiros dias após a concretagem através de mecanismos como retração plástica e higrométrica, caso não ocorra a cura adequada da peça (BERTOLINI, 2010).

Em obras de estruturas hidráulicas, deve-se levar em consideração a água em movimento constante e seu poder

dissolvente ou incrustante. Manifestações patológicas como o surgimento de pequenas fissuras, ainda que não sejam de cunho estrutural, podem culminar na lenta e contínua desagregação do concreto, levando-o a perder seu caráter aglomerante e ocasionando uma transformação no composto, perdendo massa e reduzindo a seção ao longo da sua vida útil (LAPA, 2008; PEREIRA, 2010).

Não raramente pode ser visto nos tanques sinais de desgaste superficial por erosão, aparecimento de fissuras, manchas, eflorescências e pontos progressivos de corrosão. Além disso, outros fatores podem contribuir de forma silenciosa para a degradação da estrutura, como a carbonatação (SANTANA, 2017).

SOUZA (2014) alerta sobre a reincidência de tais patologias mostrando-se como as principais e mais contundentes. Tais desgastes abrem espaços para o aparecimento de inúmeras patologias e potenciam sua criticidade por meio da ação sinérgica entre elas.

Além das manifestações patológicas anteriormente citadas, a biodeterioração do concreto mostra-se como uma indesejável e contundente mudança nas propriedades do material, devido à ação dos microorganismos. O problema se dá na grande possibilidade de produção de ácidos, ocasionando uma dissolução dos compostos hidratados do cimento, particularmente o hidróxido de cálcio, além dos silicatos de cálcio. Em seguida, associa-se novamente a deterioração por ações químicas e à, tão presente, corrosão de armaduras (SÁ, 2006).

A corrosão de armaduras aparece com destaque em todas as fases do processo como produto resultante e, significativamente danoso, do somatório de afecções comumente desenvolvidas nos tanques. Ainda assim, o estágio final ganha destaque por, mesmo compreendendo a adição de três compostos químicos (a cal, cloro e flúor), ser uníssona a afirmação que o cloro ( $Cl_2$ ) atua como o seu principal agente deletério (LOPES, 2018).

Com interação amplamente destrutiva, atinge a estrutura por reação eletroquímica e tem como sintomas o aparecimento de fissuras, trincas, manchas na superfície, desagregações, deformação excessiva, destacamento do concreto, diminuição da capacidade estrutural, entre outros. De tal modo, precede muitas patologias quando comparada por grau de degradação.

Na intenção de obter o entendimento real dos fenômenos patológicos recorrentes em estações de tratamento de água deve-se buscar elucidar questões como a origem, a relação de causas e efeitos e os mecanismos deletérios próprios de cada afecção. O devido conhecimento sobre a extensão, severidade e natureza dessas deteriorações mostram-se inquestionavelmente relevantes para o controle efetivo da situação e um melhor prognóstico (VENTURINI et al. 2001).

## **DESGASTE SUPERFICIAL**

É originado pela ação da água em movimento contendo partículas sólidas em suspensão, estas ao entrarem em choque contra o concreto, propiciam gradualmente um processo de desgaste por colisão, escorregamento ou rolagem. Esse tipo de desgaste é comum em estruturas hidráulicas, variando sua agressividade conforme o teor de sólidos e a velocidade do fluido (BRANCO, 2017).

Assim, dentre as causas de deterioração mais citadas, na ETA, uma das principais suscetibilidades dessas estruturas é o desgaste da superfície pelo processo de erosão (FONTANA e MOREIRA, 2020). Tais danos ocorrem principalmente nos tanques de mistura rápida, decantação e filtros, onde a movimentação do fluido é constante. O mecanismo desse processo se dá com a desintegração progressiva do material, pela erosão. Liu et al. (2006), afirma que a redução de massa causada através da erosão abrasiva em concretos hidráulicos, apesar de não ser linear ao longo do tempo, é um percurso estruturado por três estágios. A princípio ocorre a lenta

e degradante descamação da superfície do concreto, devido a pressão da água, como ilustra a Figura 2.

Figura 2: Desgaste superficial por erosão.



Fonte: AGUIAR, 2011 apud SANTOS, 2014

Em seguida, a Figura 3 apresenta o segundo estágio, quando os impactos das partículas sólidas transportadas juntamente com a água provocam a desintegração da argamassa e, subsequentemente, a exposição dos agregados graúdos. Nessa fase é possível notar de forma evidente a degradação do concreto nos tanques, de forma não mais superficial, acrescendo a gravidade (SOUZA, 2020).

Figura 3: Estágio avançado de desgaste do concreto no tanque de armazenamento.



Fonte: SOUZA, 2020

A ininterruptão desse processo acarreta no agravamento da afecção e desencadeamento de outros fatores deletérios. Devido a isso, um problema comum nesses casos é a complexidade

para prever a velocidade do dano, pois após o surgimento dos primeiros efeitos dificilmente consegue-se padronizar suas consequências, tendo em vista que torna-se aporte para contáveis manifestações patológicas como a lixiviação da pasta de cimento, ataque por sulfato e corrosão das armaduras (LOPES, 2018).

Como mencionado, a velocidade, as propriedades do fluido, das partículas e do material alvo influenciam diretamente no cenário. Os problemas surgidos com velocidades do fluido mais baixas, como em estações de tratamento de água, são resultantes de constantes movimentações locais ou pelo encontro com pequenas ranhuras da superfície.

Assim, evidencia-se que a estrutura superficial do concreto é um fator decisivo no desgaste por erosão, atuando como catalisadores e demonstrando a importância da correta escolha dos materiais e traços a serem adotados, bem como, os critérios de projeto, como: relação a/c, cobrimento, resistência mecânica do material e os controles na execução, como: etapas do transporte, lançamento, adensamento e cura do concreto.

## MECANISMOS DIVERSOS ASSOCIADOS À FORMAÇÃO DE FISSURAS

Dentre as inúmeras manifestações patológicas que podem se fazer presentes em estruturas de concreto armado, as fissuras - aberturas ocasionadas por ruptura de um material ou componente (NBR 9575, 2010)- são as mais comuns, citadas em todo e qualquer estudo relacionado (LOPES, 2018; AVELAR e SATURNINO, 2020; SOUZA, 2020; OLIVEIRA, 2019, entre outros).

Variando entre diversos tipos, tem seu mecanismo ditado pelas suas causas motivadoras e podem manifestar-se poucas horas após o lançamento do concreto. Por isso, para que seja realizado um correto diagnóstico, devem ser classificadas

quanto a sua origem, suas dimensões, sua gravidade e evolução, tendo em vista o grande leque de afecções que podem gerar esta manifestação como uma de suas sintomatologias (SANTOS, 2012). O autor ainda afirma que a aparição dessa patologia gera um sinal de alerta, comunica a possibilidade de degradação e alteração dos componentes da estrutura que podem perder sua integridade, gerando danos à segurança, durabilidade e impermeabilidade da peça.

FONTANA (2020) apresenta-as como um dos principais fatores que contribuem para o surgimento de manifestações patológicas no sistema e PIANCASTELLI (2008), evidencia que apesar de fissuras com abertura menor ou igual a 0,2 mm não exigirem tratamento imediato pelas normas técnicas, quando se localizam em meio agressivo, como estações de tratamento de água, devem ser levadas em consideração e solucionadas, visto que podem vir a comprometer seriamente a estanqueidade e funcionalidade dentro de um curto prazo.

A figura 4 mostra uma fissura no tanque de desinfecção, observada no trabalho de Avelar e Saturnino (2020). A presença desse sintoma, permite a fácil penetração de agentes agressivos ao substrato do concreto, tornando a estrutura ainda mais vulnerável à condição exposta.

Figura 4: Fissuras no tanque de desinfecção



Fonte: AVELAR e SATURNINO, 2020

As fissuras devem ser diferenciadas das trincas e rachaduras, que se diferem através das dimensões de suas aberturas e apresentam níveis de gravidades distintos.

Para cada uma delas existe uma gama variada de tratativas.

O primeiro ponto a ser identificado é a causa, Souza e Ripper (1998), a exemplificar, cita: deficiências de projeto, contração plástica do concreto, assentamento do concreto, perda de aderência das barras da armadura, movimentação de formas e escorras, retração do concreto, reações expansivas, corrosão das armaduras e desgastes superficiais. Corsini (2010), ao discorrer sobre o tema, ainda reitera afirmando que a direção da fissura pode auxiliar a identificação da sua causa; ainda assim, na maioria dos casos, faz-se necessária a junção desta com outras sintomatologias apresentadas para definitiva constatação.

Entre tantas possíveis causas, a retração hidráulica é presença comum em grandes peças de concreto armado, tais quais os tanques utilizados para tratamento da água bruta. Geralmente verticais, elas têm como seu principal mecanismo a perda de água por evaporação, seja em estado fresco ou endurecido.

Santos (2012), explica que no estado fresco, a água presente no concreto que não é utilizada na reação de hidratação do cimento, evapora; e com isso, a estrutura submete-se a pequenas variações volumétricas decorrentes dos processos de reações exotérmicas da hidratação do cimento. Em seguida, são afetadas pela contração diferencial causada pelo resfriamento natural. Enquanto que no caso do concreto endurecido, os deslocamentos estão associados ao meio, às variações de temperatura a que a estrutura está sujeita.

Contudo, a deformação excessiva do elemento estrutural também pode ser um motivo causador frequente para o surgimento dessa sintomatologia. O recalque diferencial na fundação, por exemplo, induz o aparecimento de fissuras e esmagamentos pontuais na peça; além de gerar trincas inclinadas em direção ao ponto recalado com aberturas variáveis e o subdimensionamento estrutural pode levar à fissuras por sobrecarga, deixando as

peças de concreto submetidas à flexão, flexo-compressão, torção e cisalhamento (AGUIAR, 2011).

Na tentativa de minimizar ao máximo o surgimento de fissuras nas unidades de tratamento, deve-se exigir cuidados rígidos a serem adotados desde a fase de projeto até a execução. Cura adequada, posicionamento da estrutura, um eficiente sistema de impermeabilização e respeito às sobrecargas previstas são fatores indispensáveis e que devem estar associados à mão de obra capacitada para que haja o atendimento das necessidades impostas pelo tipo de estrutura desejada.

## LIXIVIAÇÃO

Outra manifestação patológica oriunda da ação da água em estruturas de concreto são as eflorescências, sendo uma das mais frequentes e apresentando histórico surgimento nos tanques de todas as etapas de tratamento, por sua causa e mecanismo (LOPES, 2018; AVELAR e SATURNINO, 2020).

Os sais solúveis contidos nas argamassas são contribuintes químicos que, atrelados à umidade, podem provocar extensos quadros de eflorescências. No entanto, também devemos considerar algumas contribuições indiretas, como as que estão relacionadas à execução e projeto, por exemplo: materiais empregados, sistema construtivo e dimensionamento inadequado de elementos (RIBEIRO et al, 2018).

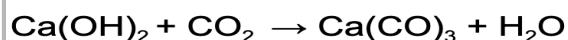
Tal patologia tem origem, por exemplo, quando o sistema de impermeabilização encontra-se danificado, sem apresentar sua funcionalidade, vindo a somar com o estado de alta permeabilidade ou presença de fissuras do substrato.

O mecanismo pelo qual se dá o surgimento da eflorescência é a lixiviação. Quando a água dissolve o hidróxido de cálcio ( $\text{Ca(OH)}_2$ ) presente na pasta hidratada de cimento, esta solução é lixiviada – carreada, pelos poros existentes no concreto e podem chegar a superfície, neste local interage com o dióxido de

carbono ( $\text{CO}_2$ ) da atmosfera formando os depósitos salinos denominados por eflorescência. (MELO et al, 2009).

A reação química referida também é conhecida como “cura da Cal Livre”, exibida na Figura 5.

Figura 5: Carbonatação do hidróxido de cálcio.



Fonte: NEVES, 2021

De acordo com SANTANA (2017), a pressão hidrostática própria para a migração das soluções, leva o produto desta reação para a superfície formando as crostas brancas características, como pode ser observada na Figura 6. Esse mecanismo promove o aumento da porosidade, e diminui a resistência, contribuindo para o quadro de vulnerabilidade do concreto armado, inclusive à ação da carbonatação.

Figura 6: Carbonatação do hidróxido de cálcio localizado na superfície do tanque de tratamento de água.



Fonte: AVELAR e SATURNINO (2020)

Apesar de, visualmente, parecer uma questão simples, os danos apresentados são funcionais. Este fenômeno acarreta uma perda parcial do desempenho da estrutura, ocasionado pela redução de sólidos no concreto, redução do pH do meio e dando início ao estágio de carbonatação da peça. A manifestação patológica descrita, propicia, portanto, um quadro de corrosão

das armaduras que, por sua vez, pode levar ao colapso estrutural.

De acordo com Ribeiro (2018), uma forma eficiente de prevenir a aparição dessa problemática é evitando que a umidade penetre no substrato, possibilidade esta adquirida através de um eficiente sistema de impermeabilização e na redução da permeabilidade do concreto.

Por isso, é importante que a seleção desse sistema se dê com base na NBR 9575 (ABNT, 2010) para que se estabeleça as exigências e recomendações de atendimento das condições mínimas de proteção da construção contra a passagem de fluidos, garantindo a estanqueidade das unidades de tratamento e um rígido controle construtivo visando minimizar o grau de porosidade do concreto empregado.

Não se pode também negligenciar as manutenções preventivas e corretivas desta unidade, estabelecida de tempos em tempos. Medida que propicia a durabilidade da estrutura e minimiza os impactos quanto à operação da ETA.

## CORROSÃO DAS ARMADURAS

Como uma das problemáticas mais encontradas e discutidas no que diz respeito às estruturas de concreto armado, entende-se que diversos fatores atuam como agentes colaboradores para o surgimento do processo de corrosão das armaduras, como demonstra LOPES (2018) na Figura 7.

Figura 7: Corrosão da armadura em tanque de aplicação de produtos químicos.



Fonte: LOPES (2018)

O processo em si, de modo simplório, pode ser compreendido como a degradação progressiva da armadura existente no concreto por um processo resultante da interação do material com o meio ambiente em que está inserido, acarretando reações de natureza química ou eletroquímica, associadas ou não a ações físicas ou mecânicas, levando a destruição do material em questão (NASCIMENTO, 2015). OLIVEIRA (2019) explica que por ter uma reação de produto expansivo, óxi-hidróxidos de ferro, que passam a preencher um volume até dez vezes superior ao volume original do aço, a corrosão tem efeito fissurante, separando o concreto da camada de cobrimento e deixando a armadura ainda mais vulnerável para a ação dos agentes agressivos encontrados nas ETAs, acelerando o processo corrosivo.

No entanto, esse fenômeno pode manifestar-se por mecanismos distintos, entre eles a corrosão generalizada ou a corrosão por pites e fissurante. Todos eles devem e necessitam ser avaliados mediante o reconhecimento de um quadro contributivo sistêmico.

A corrosão eletroquímica é encontrada com bastante frequência e suas consequências, como as demais, são extremamente danosas às estruturas. Segundo Figueiredo (2013), essa corrosão é baseada na ocorrência de um desequilíbrio elétrico entre partes do mesmo metal, formando o que denomina-se: pilha de corrosão.

Elas possuem três componentes essenciais: o cátodo, o ânodo e o eletrólito. No cátodo a superfície ainda se encontra protegida e não há corrosão; no ânodo, tem-se as reações de oxidação; e os eletrólitos viabilizam a corrente elétrica que flui do cátodo para o ânodo (POLITO, 2006). A diferença de umidade, aeração e a falta de uniformidade na composição do aço e concreto são alguns dos fatores que potencializam uma diferença de potencial, proporcionando o aparecimento do

eletrólito que indica umidade no interior do substrato (SOARES, 2015).

## CARBONATAÇÃO

FONTANA (2020) relata a corrosão generalizada como fruto de agressões físico-químicas do meio em que a peça está inserida, mediante ao impacto sofrido com o avanço da frente de carbonatação no concreto, ocorrendo uma perda completa da película de passivação existente em uma faixa de pH próxima de 13.

O fenômeno da carbonatação em estruturas de concreto armado, por sua vez, pode ser definido como um processo físico-químico e desponta da ação dissolvente do anidrido carbônico ( $CO_2$ ), presente na atmosfera, sobre o cimento hidratado, propiciando a formação do carbonato de cálcio e a redução do pH do concreto para uma faixa de valores menores que 9,0 (NEVILLE, 2016).

Comum em estações de tratamento de água, a reação principal da carbonatação demonstrada anteriormente na Figura 5, tem seu início na face superficial do concreto, gerando uma frente deletéria de avanço do processo (OLIVEIRA, 2019).

Alterando o pH progressivamente da camada que passa a ter uma alcalinidade significativamente inferior àquela ainda não afetada. De acordo com Mehta e Monteiro (2008), o mecanismo se dá pela formação de uma frente de carbonatação, que avança pela seção, da face externa para interna, criando uma zona básica e uma neutra, que atua na despassivação das armaduras. O autor continua, explicando que para que tal fenômeno possa ocorrer é necessário que haja a penetração do gás  $CO_2$  nos poros do concreto, para que, em contato com a umidade, os compostos hidratados do cimento (hidróxido de Cálcio  $Ca(OH)_2$ , o hidróxido de sódio ( $NaOH$ ) e o hidróxido de potássio ( $KOH$ )) possam reagir com o  $CO_2$  conforme ilustrado anteriormente na Figura 05.

O concreto armado, material utilizado nos tanques de tratamento de água, é um

material reconhecidamente poroso e passível de fissuras, por essa razão observa o mecanismo de ataque nas áreas não submersas que estão em contato com o oxigênio e compreendem umidade relativa entre 50 a 70%. E sua relevância dá-se principalmente no aspecto que os elementos estruturais que estejam carbonatados, mas que encontram-se em ambientes livres de umidade, não correm o mesmo risco de deterioração que uma estrutura com um teor de umidade próximos aos encontrados no local de estudo (LOPES, 2018).

As reações que provocam essa patologia geram um produto carbonatado de menor volume, provocando a chamada retração por carbonatação. Segundo Aguiar (2012), isso produz tensões adicionais à superfície monolítica, desencadeando fissuras e desplacamento do concreto devido à alteração da estrutura da pasta cimentícia. Desse modo, tanto interna quanto externamente, o material sofre alterações físicas. E continua ao afirmar que as alterações químicas, além da redução da alcalinidade, se dão ao atingir a profundidade das armaduras, provocando a desestabilização química da película passivadora do aço e dando início a um sério estado de corrosão das armaduras.

De acordo com Lopes (2018), manchas brancas na superfície do tanque e fissuras, manifestações supracitadas, apontam e alertam para um cenário em processo de carbonatação. Ainda, de acordo com este autor, em alguns casos, foram observados que todo o tanque de desinfecção, etapa final do tratamento, encontrava-se com o pH abaixo de 9,5, indicando carbonatação total no elemento.

Tratando-se de estruturas especiais, com constante contato com agentes químicos e água, as estações de tratamento de água devem ser projetadas com materiais específicos para essa aplicação (FONTANA e MOREIRA, 2020). Fatores como alta permeabilidade, aumento da relação água/cimento, condições ambientais locais, não cumprimento do

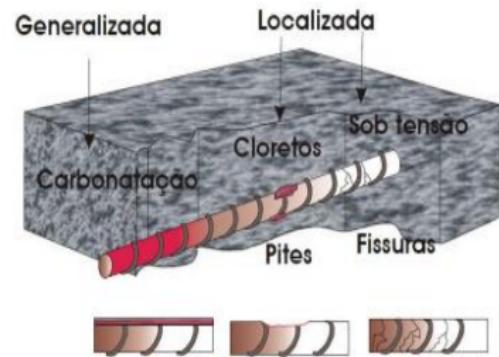
cobrimento mínimo, falha no sistema de impermeabilização e na etapa de cura do concreto contribuem favoravelmente para o seu acontecimento e devem ser fortemente minimizados.

## CLORETO

A corrosão por pites, conforme Ferreira (2017), decorre da despassivação localizada na camada protetora, gerando um tipo de dano pontual, onde há um desgaste localizado e definido em alguns pontos específicos na superfície metálica. De difícil detecção inicial devido ao pequeno tamanho que eles apresentam, o dano só é constatado após um determinado período e apresentam-se em locais com falha na camada de cobrimento, como fissuras e heterogeneidades microestruturais, segundo Soares (2015). O autor ainda pontua que nesse período de tempo, os íons cloreto ativam a superfície do aço formando o ânodo e fazendo da superfície passivada, o cátodo. Dessa forma, gera a dissolução do metal.

O ataque corrosivo evolui e, agravando-se, pode gerar tamanha perda de seção que ocasiona a perfuração e ruptura da barra. Enquanto que a corrosão sob tensão, apesar de também ter como característica o processo deletério localizado, é derivada de uma excessiva tensão de tração na armadura, resultando na propagação de fissuras na barra de aço (COSTA E SILVA, 2020).

Figura 7: Demonstração de alguns tipos de ataque corrosivo



Fonte: FERREIRA, 2017

Manchas superficiais, fissuras, destacamento do cobrimento de concreto e perda de seção das armaduras, podem se tornar sintomatologias comuns e frequentes em tanques das unidades das estações de tratamento de água, principalmente o de desinfecção, como apresenta o caso estudado (LOPES, 2018), tendo em vista o conjunto de fatores que, se não forem cuidadosamente observados, favorecem o surgimento de tal patologia (SOUZA, 2020).

Porém, é de conhecimento técnico que a corrosão também pode se apresentar sem nenhuma sintomatologia visível, de forma que suscita medidas de prevenção para o controle de fatores que possam culminar nessa afecção. Nascimento (2015) alerta para o fato de que pequenas manifestações patológicas atuam simultaneamente e agravam o grau de deterioração.

No caso em estudo, o cobrimento de cada estrutura deve ser respeitado e reconhecido como ponto fundamental para o alcance de sua durabilidade, haja vista o ambiente e as condições de exposição às quais este concreto estará submetido (AVELAR e SATURNINO, 2020).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Cada uma das manifestações patológicas, descritas no presente trabalho ou não, apresentam características particulares que norteiam a determinação da sua origem, causa e mecanismo. No entanto, com os exemplos supracitados pudemos observar que as consequências geradas com o seu surgimento no concreto armado podem ainda ser intensificadas quando analisadas de forma conjunta e como ponte facilitadora de outros malefícios à estrutura.

Com fundamental relevância, a compreensão e diagnóstico de cada caso perpassa pela observância do quadro de afecções e o cruzamento de suas sintomatologias. A Matriz GUT, por sua vez, atrela valor no alcance de adoção de

medidas assertivas por permitir a melhor visualização da problemática, na medida que ressalta a gravidade, urgência e tendência das mesmas. Para análise e utilização do método, adotou-se como referências a classificação e atribuição de valores conforme demonstrado na Tabela 3.

Tabela 3 - Descrição da pontuação.

DESCRIÇÃO DA PONTUAÇÃO				
Pontuação	Gravidade	Urgência	Tendência	
5	Dano gravíssimo	Ação imediata	Pode levar ao colapso	
4	Dano grave	Com urgência	Agravamento em curto prazo	
3	Dano grave quando associado	O mais cedo possível	Agravamento em médio prazo	
2	Dano regular	Em breve	Agravamento em longo prazo	
1	Dano mínimo	Pode aguardar	Pode vir a estabilizar	

Fonte: (LIMA, 2019), adaptado por autor.

A gravidade compreende a intensidade dos danos que a manifestação patológica pode causar; a urgência, o tempo para a eclosão dos danos e a tendência, esclarece o desenvolvimento que o problema possivelmente terá, mediante a ausência dos devidos reparos e manutenção.

Para a pontuação e classificação das manifestações mais ocorrentes nas estações de tratamento de água, a frequência com que ocorre e a sua facilitação para maior ancoragem de outros danos também foram levados em consideração, visto que são fatores decisivos para tomadas de decisão. Como se pode observar na Tabela 4, foi atribuída uma pontuação de 1 a 5 para cada manifestação patológica discutida. Em seguida, obteve-se o grau crítico através da multiplicação  $G \times U \times T$  e foi estabelecido uma ordem de prioridade, dando suporte para a tomada de decisão do corpo técnico.

Tabela 4 - Matriz GUT.

MATRIZ GUT					
Manifestação patológica	G	U	T	GxUxT	Prioridade
Desgaste superficial por erosão	2	3	3	18	3º
Lixiviação	2	2	3	12	4º
Fissuras	3	3	4	36	2º
Oxidação da armadura	5	5	5	125	1º

Fonte: Autor

Desse modo, observamos que a ordem estabelecida de prioridades é: oxidação da armadura, fissuras, desgaste superficial e lixiviação.

O primeiro problema a ser resolvido nos tanques de concreto armado seriam os pontos de corrosão - ocasionados tanto por carbonatação quanto por ataque de cloreto - devido ao potencial de levar a peça ao colapso em pouco tempo, comprometendo todo o sistema. Dessa forma, requer ação imediata.

Em seguida as fissuras e posteriormente o desgaste superficial seriam o foco das manutenções e tratativas, pois o agravamento dessas manifestações patológicas viabilizam o comprometimento da estrutura com maior velocidade, aumentando gradualmente seu nível de criticidade e urgência. E com menor pontuação, mas de significativa relevância, destaca-se a lixiviação em 4º lugar, pois apesar de ocorrer com frequência, possibilita a resolução dentro de um período de tempo mais extenso.

Como comentado inicialmente, além dos cuidados durante cada etapa de projeto e construção, a manutenção preventiva e corretiva são essenciais para garantir a durabilidade, desempenho e alcance da

vida útil projetada. Em todo tipo de edificação encontrar-se-á exigências específicas que compreendem o escopo da edificação. No caso das estações de tratamento de água, devido a sua tendência degradante ao concreto armado, tais manutenções precisam ser realizadas dentro dos prazos previstos em projeto, de acordo com os materiais empregados e ocorrências pontuais que podem acelerar tais necessidades. A negligência acarretará, além de alto custo operacional, aumento no índice de perda de água, maiores consumos de aditivos químicos para obtenção dos parâmetros mínimos e menor período de atendimento eficaz à população abastecida.

## CONCLUSÃO

Mediante o apresentado observamos que as estruturas de concreto armado, presentes na estação de tratamento de água como reservatórios e suportes para cada etapa do tratamento, estão sujeitas diariamente a fatores externos e internos que interferem no seu desempenho, vida útil e durabilidade.

Evidencia-se a elaboração de projetos detalhados com especificações próprias para o caso, o acompanhamento de profissionais habilitados e a determinação de manutenções preventivas e corretivas.

Entre as manifestações mais frequentes, temos o desgaste superficial por erosão, eflorescência, fissuras, e corrosão da armadura – acelerada devida ao processo de carbonatação, provocadas possivelmente por falha de projetos, execução e, principalmente, de manutenção preventiva e corretiva.

O custo com manutenção corretiva é sempre maior que o destinado à manutenção preventiva; a falta desta faz com que pequenas sintomatologias e manifestações, talvez de baixo custo, aumentem sua proporção podendo comprometer a qualidade e segurança do elemento, resultando um alto custo para correção.

No que diz respeito à ordem de prioridades obtida através da matriz GUT, ressalta-se que é preciso observar o cenário de forma sinérgica e particular, para cada unidade de tratamento. Com o diagnóstico determinado, a ordem de priorização indicada e os devidos cuidados tomados, aumenta-se a chance de prolongamento no tempo de alto desempenho das estruturas de concreto armado.

Além disso, evidencia-se a criticidade dos casos de oxidação da armadura, seja desencadeada pela carbonatação ou por ataque de cloretos, com seu caráter altamente prejudicial. As demais manifestações destacadas, apesar de não apresentarem grande dano em curto espaço de tempo, destacam sua relevância por tornarem-se aportes para as de maior gravidade.

## REFERÊNCIAS

ACHON, Cali Laguna, BARROSO, Marcelo Melo e CORDEIRO, João Sérgio Leito de. Drenagem: sistema natural para redução de volume de lodo de estação de tratamento de água. **Engenharia Sanitária e Ambiental**. 2008, v. 13, n. 1, pp. 54-62. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/esa/a/6GpC9XgzwX5F84FWbrgBkv/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 10 junho 2021

AGUIAR, J. E. de. **Durabilidade, proteção e recuperação das estruturas**. Notas de aula. Especialização em Construção Civil – Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 12216**: Projeto de estações de tratamento de água para abastecimento público. Rio de Janeiro, 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 6118**: Projeto de estruturas de concreto – Procedimento. Rio de Janeiro, 2014.

VELAR, Karoliny De Castro; SATURNINO, Maisa Melo. **Perda de água por meio de patologias na estação de tratamento de água da cidade de Goianésia-GO**. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Faculdade Evangélica de Goianésia. p. 52. Dez 2020. Disponível em: <http://repositorio.aee.edu.br/jspui/handle/ae e/17006>. Acesso em: 10 junho 2021.

BERNARDO, L. D.; DANTAS, A. D. B. **Métodos e Técnicas de Tratamento de Água**. 2<sup>a</sup> ed. Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2005. 2v.

BERNARDO, L. D.; SABOGAL PAZ, L. P. **Seleção de tecnologias de tratamento de água**. São Carlos: Editora LDIBE LTDA, vol. 2, 2008.

BERTOLINI, L. **Materiais de construção: patologia, reabilitação, prevenção**. São Paulo: Oficina de Textos, 2010. 414 p.

BOTERO, Wander Gustavo et al. Caracterização de lodo gerado em estações de tratamento de água: perspectivas de aplicação agrícola. **Química Nova [online]**. 2009, v. 32, n. 8, pp. 2018-2022. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/qn/a/r5xt9hQk9FWqD6ztcyhrpfy/?lang=pt>. Acesso em : 1 de abril de 2021

BRANCO, Renan de Lima et al. Experimentos preliminares sobre o comportamento de diferentes concretos à erosão por mistura água-sólido. In: **SIMPÓSIO BRASILEIRO DE**

RECURSOS HÍDRICOS, Florianópolis. **Anais[...]** Rio Grande do Sul: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2017. Disponível em: <https://anais.abrhidro.org.br/job.php?Job=3040>. Acesso em: 25 de maio de 2021.

BRASIL. Ministério da Saúde. Gabinete do Ministro. **Consolidação das normas sobre as ações e os serviços de saúde do Sistema Único de Saúde.** Portaria nº 5, de 28 de setembro de 2017. Brasília, 2017.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Normas e padrão de potabilidade das águas destinadas ao consumo humano.** Normas regulamentadoras aprovadas pela Portaria nº 2.914. Brasília, 2011.

COMPANHIA DE SANEAMENTO DE MINAS GERAIS. **Norma Técnica T.175/3:** Projeto e execução para estruturas em concreto para obras de saneamento. Minas Gerais. 2018.

CORSINI, R. Trinca ou fissura? **Revista Téchne.** São Paulo, n. 160, jul. 2010.

COSTA, Reizilene Nogueira; SILVA, Shirlane Alves da. **Análise de corrosão em estrutura de concreto armado.** Monografia. Graduação em Engenharia Civil. Faculdade Evangélica De Goianésia. 48 Jul 2020. Disponível em: <http://repositorio.aee.edu.br/jspui/handle/ae/9412>. Acesso em: 11 junho 2021.

FARIAS, N.J.V. **Desempenho de filtros lentos, com diferentes períodos de amadurecimento, precedidos de pré-filtração em pedregulho no tratamento de águas contendo células tóxicas de *Microcystis aeruginosa*.** Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental e

Recursos Hídricos) – Universidade de Brasília, Brasília, 123p. 2011. Disponível em: [http://ptarh.unb.br/wp-content/uploads/2017/03/Nara\\_Julliana\\_Vieira\\_de\\_Farias.pdf](http://ptarh.unb.br/wp-content/uploads/2017/03/Nara_Julliana_Vieira_de_Farias.pdf). Acesso em: 10 de maio.

FERREIRA, Leonardo Almeida. **Patologia Estrutural-Corrosão.** Monografia. Instituto de pós-graduação IPOG. p. 52 2017. Disponível em: <http://repositorio.aee.edu.br>. Acesso em: 5 de abril de 2021

FIGUEIREDO, Enio Pazini; MEIRA, Gibson. **Corrosão das armaduras das estruturas de concreto.** (Asociación Latinoamericana de Control de Calidad, Patología y Recuperación de la Construcción - ALCONPAT Int). Boletim Técnico, 06. 2013. Disponível em: <http://alconpat.org.br/wp-content/uploads/2012/09/B6-Corros%C3%A3o-das-armaduras-das-estruturas-de-concreto.pdf>. Acesso em: 29 de junho de 2021.

FONTANA, Patrícia; MOREIRA, Amacin Rodrigues. Manifestações patológicas em estações de tratamento de água e recomendações de tratamento e prevenção: Um estudo de caso na região sul do Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PATOLOGIA DAS CONSTRUÇÕES, Fortaleza. **Anais[...]** Rio Grande do Sul: Associação Brasileira de Patologia das construções, 2020.

HELENE, Paulo R.L. **Manual prático para reparo e reforço de estruturas de concreto.** 1º Ed. São Paulo: Pini, 1988.

HELLER, L.; PÁDUA, V. L. **Abastecimento de água para consumo humano.** 1º Ed. Minas Gerais: UFMG, 2006.

KEPNER, Charles H.; TREGOE, Benjamin B. **O administrador racional: uma abordagem sistémica à solução de problema e tomada de decisões.** Ed. Atlas. São Paulo, 1981.

KUDLANVEC JUNIOR, Vitor Lorival et al. Levantamento de manifestações patológicas em estação de tratamento de esgoto: Estudo de caso em reator UASB. **Revista Técnico-Científica**, v. 1, n. 12, 2018. Disponível em: <http://creapr16.crea-pr.org.br/revista/Sistema/index.php/revista/article/view/419>. Acesso em: 18 de maio de 2021.

LIBÂNIO, M. **Fundamentos de qualidade e tratamento de água.** 3. Ed. Campinas: Editora Átomo, 2010. p. 494.

LIU, Y.W; YEN, T.; HSU, T. H. Abrasion erosion of concrete by water-borne sand. **Cement and Concrete Research** 36, pp. 1814-1820. 2006. Disponível em: <http://worldcat.org/issn/00088846>. Acesso em: 10 de maio de 2021

LIMA, Maria Gilcelannia Holanda. **Diagnóstico de incidências de manifestações patológicas com a utilização da metodologia matriz gut-estudo de caso.** Monografia – Universidade Federal Rural Do Semi-árido, Mossoró. p. 64. 2019. Disponível em: <https://repositorio.uniceub.br/jspui/handle/prefix/13950>. Acesso em: 12 de maio de 2021

LOPES, Alisson Roberto Costa. **Análise de manifestações patológicas no Tanque de Aplicação de Produtos Químicos (TAPQ) da ETA Rio Descoberto-Brasília/DF.** 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em engenharia civil). Faculdade de Tecnologia e Ciências Sociais Aplicadas. Brasília, 2018. Disponível em:

<https://repositorio.uniceub.br/jspui/handle/prefix/13950>. Acesso em: 10 de maio de 2021.

MACEDO, J. A. B. **Águas & Águas.** 3º Ed. Minas Gerais: CRQ – MG, 2007.

MELO, V.S; SANTOS, H.A; SILVA, A.P. Patologias em estruturas hidráulicas de macrodrenagem revestidas em concreto. **Revista construindo** v.01, n.2, p.32-37, jul/dez. 2009. Disponível em: <http://revista.fumec.br/index.php/construindo/article/view/1737>. Acesso em: 18 de maio de 2021.

MEHTA, P.K.; MONTEIRO, P.J.M. **Concrete – microestrutura, propriedades e materiais.** Instituto Brasileiro do Concreto, São Paulo, 2008.

MONTEIRO, Sandro Mateus Gonçalves et al. **Análise mecânica de um piso decantador de uma estação de tratamento de água.** Brazilian Journal of Development, v. 6, n. 10, 2020. Disponível em: <https://www.brazilianjournals.com/index.php/BRJD/article/view/18779>. Acesso em: 02 de maio de 2021

NASCIMENTO, F. B. C. D. Corrosão em armaduras de concreto. **Caderno de Graduação - Ciências Exatas e Tecnológicas - UNIT - ALAGOAS, /S.I.**, v. 3, n. 1, p. 177–188, 2015. Disponível em: <https://periodicos.set.edu.br/fitsexatas/article/view/2651>. Acesso em: 11 jul. 2021.

NEVILLE, A. **Propriedade do concreto.** 5ª ed. Porto Alegre: Bookman. 2016.

OLIVEIRA, José Ulisses de. **Diagnóstico das manifestações patológicas presentes em um reservatório de uma estação de**

**tratamento de água na cidade de Delmiro Gouveia - AL:** Estudo de caso. Monografia. Faculdade de Tecnologia e Ciências Sociais Aplicadas. Alagoas. 2019. Disponível em: <http://www.repositorio.ufal.br/jspui/handle/riufal/6344>. Acesso em: 8 de junho de 2021

**PEREIRA, E.A. Patologias em reservatórios de água potável e sua correção.** Lisboa: 2010. Disponível em: <http://repositorio.ipl.pt/handle/10400.21/443>. Acesso em 21 de junho de 2021.

**PIANCHELLI, Élvio Mosci. Patologia e terapia das estruturas Intervenções de Reparo (restaurações).** Notas de aula. Escola de Engenharia. Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, Minas Gerais. 2008. Disponível em: <https://www.docscopy.com/pt/patologia-e-terapia-das-estruturas-intervencoes-de-reparo/4899700/>. Acesso em: 20 de maio de 2021.

**POLITO, G. Corrosão em estruturas de concreto armado: causas, mecanismos, prevenção e recuperação.** 2006. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Construção Civil) – Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2006. Disponível em: [http://polito.eng.br/upload/CORROSAO\\_E\\_M\\_ESTRUTURAS\\_DE\\_CONCRETO\\_20160405.pdf](http://polito.eng.br/upload/CORROSAO_E_M_ESTRUTURAS_DE_CONCRETO_20160405.pdf). Acesso em: 18 de maio de 2021.

**RIBEIRO, Iracira José da Costa et al.** Implantação de métodos de tratamento para combater as eflorescências. **Revista Principia: Divulgação científica e tecnológica do IFPB**, João Pessoa, v.1, p. 43-53, 2018. Disponível em: <https://periodicos.ifpb.edu.br/index.php/principia/article/view/1206>. Acesso em: 20 de maio de 2021.

ncipia/article/view/1206. Acesso em: 20 de maio de 2021.

**SÁ, J. C. Influência das características da camada filtrante e da taxa de filtração na eficiência de remoção de *Microcystis aeruginosa* e *microcistina* na filtração lenta em areia.** Tese (Doutorado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos) - Universidade De Brasília, Brasília. p.190 2006. Disponível em: <http://ptarh.unb.br/teses/influencia-das-caracteristicas-da-camada-filtrante-e-da-taxa-de-filtracao-na-eficiencia-de-remocao-de-microcystis-aeruginosa-e-microcistina-na-filtracao-lenta-em-areia/>. Acesso em: 20 de maio de 2021.

**SANTANA, Gabrielle Alves S. Levantamento de manifestações patológicas em reservatórios de concreto armado no município de Alegrete/RS.** 2017. Trabalho de Conclusão do Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Pampa, Campus Alegrete, Alegrete, 2017. Disponível em: <http://dspace.unipampa.edu.br:8080/jspui/handle/riu/1971>. Acesso em: 20 de abril de 2021.

**SANTOS, M. R. G. Deterioração das estruturas de concreto armado – estudo de caso.** 122f. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Construção Civil) – Universidade Federal de Minas Gerais, Minas Gerais. p. 109. 20 de março de 2012. Disponível em: <http://hdl.handle.net/1843/BUOS-9AHGJT>. Acesso em: 10 de maio de 2021.

**SANTOS, Camila Freitas dos. Patologia de estruturas de concreto armado.** 2014. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria, Rio Grande do Sul, p. 91. 2014. Disponível em: <http://coral.ufsm.br/engcivil/images/PDF/2>

\_2014/TCC\_CAMILA%20FREITAS%20DOS%20SANTOS.pdf. Acesso em: 20 de maio de 2021.

SOARES, A.P.F; VASCONCELOS, L.T; NASCIMENTO, F.B.C. Corrosão em armaduras de concreto. **Revista Ibracon de estruturas e materiais**. 2015. Cadernos de graduação de ciências exatas e tecnológicas, V.3, n.1, p. 177-188. Maceió. Disponível em: <https://periodicos.set.edu.br/fitsexatas/article/view/2651>. Acesso em: 15 de maio de 2021.

SOUZA, Anne Karolline Lamana de. **Identificação das manifestações patológicas em reservatório de água executado em concreto armado em condomínio unifamiliar** - Estudo de caso. 2014. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Patologia das Construções). Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba. 45p. 2014. Disponível em: <http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/3859>. Acesso em: 16 de maio de 2021

SOUZA, Vitória B. Leite; LAIANY K. F; RAMOS, Maria A. Sousa, NILBERTE M. Análise das manifestações patológicas na estação de tratamento de água de JURU-PB. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PATOLOGIA DAS CONSTRUÇÕES, Fortaleza. **Anais** [...] Rio Grande do Sul: Associação Brasileira de Patologia das construções, 2020.

SOUZA, V. C. M.; RIPPER, T. **Patologia. Recuperação e Reforço de Estruturas de Concreto**, v. 1, São Paulo 1998.

TRATAMENTO DE ÁGUA. **Sabesp**, 2021. Disponível em: <http://site.sabesp.com.br/site/interna/Defau>

lt.aspx?secaoId=47. Acesso em: 27 maio 2021.

VENTURINI, M. A. A. G.; BARBOSA, P. S. F. & LUVIZOTTO JR., E. Estudo de Alternativas de Reabilitação para Sistemas de Abastecimento de Água. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 14, 2001, Aracaju. **Anais** [...] Rio Grande do Sul: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2001. Disponível em: <https://anais.abrhidro.org.br/job.php?Job=12510>. Acesso em: 25 de maio de 2021.