

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE GOIÁS
CAMPUS GOIÂNIA
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

ANSELMO CLAUDINO DE SOUSA

**ANÁLISE DE MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM ESTAÇÕES DE
TRATAMENTO DE ÁGUA**

Goiânia, GO
2022

ANSELMO CLAUDINO DE SOUSA

**ANÁLISE DE MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM ESTAÇÕES DE
TRATAMENTO DE ÁGUA**

**Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Coordenação de
Engenharia Civil, do Instituto Federal de
Educação, Ciência e Tecnologia de
Goiás, Campus Goiânia, como parte dos
requisitos necessários para obtenção
do título de Bacharel em Engenharia
Civil**

**Orientador: Prof. Me. Glydson Ribeiro
Antonelli**

**Goiânia, GO
2022**

S725a Sousa, Anselmo Claudino de.

Análise de manifestações patológicas em estações de tratamento de água / Anselmo Claudino de Sousa. – Goiânia : Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, 2022.
90f. : il.

Orientação: Prof. Me. Glydson Ribeiro Antonelli.

TCC (Trabalho de Conclusão de Curso) – Curso de Bacharelado em Engenharia Civil, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás.

1. Concreto armado. 2. Patologias. 3. Tratamento de água. I. Antonelli, Glydson Ribeiro (orientação). II. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás. III. Título.

CDD 690.26

Ficha catalográfica elaborada pela bibliotecária Lana Cristina Dias Oliveira CRB1/ 2.631
Biblioteca Professor Jorge Félix de Souza,
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, Câmpus Goiânia.



INSTITUTO FEDERAL
Goiás

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
SISTEMA INTEGRADO DE BIBLIOTECAS

TERMO DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAÇÃO NO REPOSITÓRIO DIGITAL DO IFG - ReDi IFG

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610/98, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, a disponibilizar gratuitamente o documento no Repositório Digital (ReDi IFG), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, em formato digital para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IFG.

Identificação da Produção Técnico-Científica

- | | |
|--|---|
| ☐ Tese | ☐ Artigo Científico |
| ☐ Dissertação | ☐ Capítulo de Livro |
| ☐ Monografia – Especialização | ☐ Livro |
| ☒ TCC - Graduação | ☐ Trabalho Apresentado em Evento |
| ☐ Produto Técnico e Educacional - Tipo: _____ | |

Nome Completo do Autor: Anselmo Claudino de Sousa

Matrícula: 20161011050346

Título do Trabalho: Análise de manifestações patológicas em estações de tratamento de água

Autorização - Marque uma das opções

1. ☐ Autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG (acesso aberto);
2. ☒ Autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG somente após a data 10/03/2023 (Embargo);
3. ☐ Não autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG (acesso restrito).

Ao indicar a opção **2 ou 3**, marque a justificativa:

- ☐ O documento está sujeito a registro de patente.
☒ O documento pode vir a ser publicado como livro, capítulo de livro ou artigo.
☐ Outra justificativa: _____

DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

O/A referido/a autor/a declara que:

- i. o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
- ii. obteve autorização de quaisquer materiais inclusos no documento do qual não detém os direitos de autor/a, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;
- iii. cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás.

Goiânia, 10/03/2022.

Assinatura do Autor e/ou Detentor dos Direitos Autorais



INSTITUTO FEDERAL
Goiás

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE GOIÁS
CÂMPUS GOIÂNIA

Anselmo Claudino de Sousa

ANÁLISE DE MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ÁGUA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Civil, do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, Campus Goiânia, como parte dos quesitos necessários para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Membros da banca: Me. Glydson Ribeiro Antonelli (orientador), Me Douglas Pereira da Silva Pitaluga; Me. Claudio Marra Alves.

Aprovado em 18 de Fevereiro de 2022.

Documento assinado eletronicamente por:

- Claudio Marra Alves, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 19/02/2022 15:15:41.
- Glydson Ribeiro Antonelli, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 19/02/2022 10:09:51.
- Douglas Pereira da Silva Pitaluga, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 18/02/2022 21:18:35.
- Matilde Batista Melo, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 18/02/2022 21:02:00.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 18/02/2022. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifg.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 248562

Código de Autenticação: d529c0415c



Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás

Rua 75, nº 46, Centro, GOIÂNIA / GO, CEP 74055-110

(62) 3227-2736 (ramal: 2736)

DEDICATÓRIA

*Incondicionalmente à Yara Vanessa, minha
amada!*

EPÍGRAFE

“A gente ainda vai longe, depois de estar cansado!”
(Eduardo Pacheco Jordão).

RESUMO

ANÁLISE DE MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM ESTAÇÃO DE TRATAMENTO ÁGUA

Autor: Anselmo Claudino de Sousa
Orientador: Glydson Ribeiro Antonelli

O abastecimento de água é fundamental para promoção da saúde pública e qualidade de vida, principalmente nas regiões urbanas. Os sistemas de abastecimento de água visam fornecer água em quantidade e qualidade para todos os usuários, para isso existem um conjunto de unidades que captam água dos corpos hídricos e entregam em condições adequadas para consumo humano nas residências dos usuários. Entre tais unidades destaca-se a Estação de Tratamento de Água (ETA), cuja finalidade principal é adequar a qualidade de água aos padrões de potabilidade. O principal material empregado para construção de uma ETA é o concreto armado. A água tem elevada capacidade de provocar degradação do concreto, resultando em danos as estruturas. Dessa maneira, é de grande importância investigar a ocorrência de manifestações patológicas nessas estruturas, pois, em razão da relevância do serviço de abastecimento de água, a ETA deve funcionar continuamente, o que requer o controle e manutenção contínua, o que muitas vezes não ocorre de maneira adequada. Essa pesquisa realizou a análise de manifestações patológicas em ETA's na cidade de Senado Canedo. O método utilizado foi definido por Lichtenstein (1986). Durante a pesquisa foram identificadas as seguintes manifestações patológicas: deslocamento, empolamento e sujidade das pinturas, desagregação do concreto, fissuras exposição e corrosão das armaduras, lixiviação e eflorescência, sendo que as duas últimas foram as mais recorrentes. Muitas das estruturas ficam totalmente submersas, fato este que exige atenção com tratamento adequado das superfícies (impermeabilização), pois o constante contato da estrutura com a água intensifica o surgimento de manifestações patológicas.

Palavras-chave: manifestações patológicas, tratamento de água, concreto armado.

ABSTRACT

ANALYSIS OF PATHOLOGICAL MANIFESTATIONS IN WATER SUPPLY SYSTEM WORKS

Author: Anselmo Claudino de Sousa
Advisor: Glydson Ribeiro Antonelli

Water supply is essential for promoting public health and quality of life, especially in urban areas. The water supply systems aim to provide water in quantity and quality to all users, for that there are a set of units that capture water from water bodies and deliver it in adequate conditions for human consumption in the users' homes. Among these units, the Water Treatment Station (ETA) stands out, whose main purpose is to adapt water quality to potability standards. The main material used for the construction of an ETA is reinforced concrete. Water has a high capacity to cause concrete degradation, resulting in damage to structures. Thus, it is of great importance to investigate the occurrence of pathological manifestations in these structures, because, due to the relevance of the water supply service, the ETA must work continuously, which requires continuous control and maintenance, which often does not occur properly. This research carried out the analysis of pathological manifestations in WTPs in the city of Senado Canedo. The method used was defined by Lichtenstein (1986). During the research, the following pathological manifestations were identified: displacement, blistering and dirtiness of the paintings, disintegration of the concrete, cracks, exposure and corrosion of the reinforcement, leaching and efflorescence, with the last two being the most recurrent. The triggering factor of the pathologies is the presence of water and humidity, and many of the structures are totally submerged, the inadequate treatment of concrete surfaces (waterproofing) contributes to intensifying the pathologies.

Keywords: pathological manifestations, water treatment, reinforced concrete

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Relação do custo de manutenção com o tempo, Lei de Sitter	18
Figura 2 - Esquema de uma ETA convencional	22
Figura 3 - ETA Mauro Borges, Goiânia.	22
Figura 4 – Distribuição relativa da incidência de manifestações patológicas.	25
Figura 5 - – Origem das manifestações patológicas.	26
Figura 6 - Incidência de patologias no concreto armado em cada etapa.	26
Figura 7 - Mecanismo de corrosão de armaduras por cloretos.	32
Figura 8 - Corrosão de armadura em tanque de produto químico em uma ETA.....	33
Figura 9 - Desagregação do concreto em um tanque de produto químico de uma ETA	33
Figura 10 - Erosão e perda da armadura em um tanque de produto químico de uma ETA	34
Figura 11 - Percentual da ocorrência das patologias em reservatórios.....	35
Figura 12 - Condições da ETA Lucio Rosa em 09/10/2002	41
Figura 13 - Condições da ETA Lucio Rosa em 21/03/2009	42
Figura 14 - Condições da ETA Lucio Rosa em 15/05/2011	42
Figura 15 - Condições da ETA Lucio Rosa em 23/06/2021	43
Figura 16 - Construção da ETA Sozinha em 21/07/2015, Senador Canedo.	44
Figura 17 - ETA Sozinha em 23/06/2021, Senador Canedo	44
Figura 18 – Planta e corte lateral da calha Parshall, unidade de tratamento preliminar.	46
Figura 19 - Organismos biológicos (musgos) aderidos a parede de concreto	47
Figura 20 - Parede externa do canal retangular com descolamento e empolamento da pintura.	48
Figura 21 - Vista inferior da laje de sustentação do canal retangular. A) Descolamento e presença de musgo na parte inferior da laje. B) Elevada quantidade de sujeira em parede abaixo da laje.	48
Figura 22 - Deslocamento de concreto na borda da laje	48
Figura 23 - Parede externa do canal. A) trecho do canal onde foi instalado tanque de coagulante. B) Parede do canal em que se observa empolamento da pintura. C) Parede do canal com deslocamento de concreto. D) Parede lateral do canal com deslocamento de concreto.	49

Figura 24 - Parede externa do canal retangular. A) Trecho da parede com descolamento da pintura, deslocamento do concreto e exposição da armadura. B) Trecho onde da parede do canal com armadura exposta.	49
Figura 25 - Planta baixa das unidades de floculação e decantação da ETA Lucio Rosa, piso inferior.	51
Figura 26 - Planta baixa das unidades de floculação e decantação da ETA Lucio Rosa, piso superior.	52
Figura 27 - Corte transversal das unidades de floculação e decantação da ETA Lucio Rosa, piso superior.	53
Figura 28 - Visualização das estruturas do decantador, canal de distribuição e filtro.	55
Figura 29 - Vista lateral do canal de distribuição de água do decantador para o filtro.	55
Figura 30 - Vista lateral do canal de distribuição de água do decantador para o filtro.	56
Figura 31 – Vista lateral do decantador. A) Detalhe da viga parede e trecho de laje em balanço. B) Detalhe de trecho de laje em balanço sustentado pela viga parede do decantador.	56
Figura 32 – Vista da laje em balanço de baixo para cima, onde é possível constatar a ocorrência de fissuras no canal de distribuição de água. A) Detalhe da primeira fissura com ocorrência de eflorescência. B) Detalhe de fissura a cerca de 4 metros da primeira. C) Detalhe de fissura a 3 metros da segunda.	57
Figura 33 - Ocorrência de eflorescência no fundo do canal. A) Observa-se a ocorrência de estalactites e estalagmites abaixo de uma das fissuras. B) Destaque para estalactites e estalagmites no canal. C) Destaque para diversas estalactites nas bordas do canal de distribuição de água.	58
Figura 34 - Ocorrência de eflorescência na borda do canal. A) Trecho do canal com elevada quantidade de estalactites. B) Detalhe de estalactites com presença de água. C) Trecho da borda do canal com ocorrência de estalactites.	58
Figura 35 - Ocorrência de eflorescência na viga parede do decantador e floculador. A) Ocorrência de eflorescência em pontos diversos da viga parede. B) Detalhe de eflorescência entre o fundo do canal e viga parede. C) Destaque para quantidade de eflorescência em trecho entre o fundo do canal e viga parede. D) Ocorrência de eflorescência em viga parede do decantador.	59

Figura 36 - Ocorrência de eflorescência na viga parede da lateral direita do decantador. A) Destaque para ponto com ocorrência de deslocamento e eflorescência. B) Trecho da viga parede com eflorescência em pontos diversos. C) Detalhe ponto concentrado de eflorescência na viga parede. D) Detalhe de outro ponto de eflorescência na viga parede,.....	60
Figura 37 - Ocorrência de fissuras e eflorescência na viga parede direita. A) Destaque para fissura lateral com ocorrência de eflorescência. B e C) Destaque para fissura vertical com ocorrência de eflorescência.	61
Figura 38 - Laje em balanço, sustentado pela viga parede lateral direita, com fissuras e eflorescência.	62
Figura 39 - Planta baixa pavimento superior dos filtros.....	65
Figura 40 - Planta baixa dos filtros, pavimento inferior.....	66
Figura 41 - Corte transversal dos filtros.	67
Figura 42 - Deslocamento de concreto e exposição de armadura em viga parede lateral.	68
Figura 43 - Manifestações patológicas na viga parede 1 do filtro. A) Ocorrência de eflorescência e escorrimento de água. B) Eflorescência em viga parede com conexão de tubulação de ferro fundido. D) Ponto de infiltração na viga parede do filtro, porém ainda não há sinais de eflorescência.	69
Figura 44 - Manifestações patológicas entre as vigas paredes e as tubulações. A) Fissura no concreto em ponto de conexão com tubulação de ferro fundido. B e C) Ocorrência de eflorescência em trecho de conexão entre viga parede e tubulação. D) Eflorescência em áreas adjacente a tubulação de ferro.....	69
Figura 45 - Manifestações patológicas na viga parede 2 dos filtros. A) Ocorrência de eflorescência em viga parede. B) Ocorrência de fissura e trinca, com vazamento de água na viga parede. C) Ocorrência de fissuras e eflorescência em viga parede. D) Eflorescência em viga parede.	70
Figura 46 - Deslocamento do concreto, exposição e corrosão da armadura em viga.	70
Figura 47 - Vista lateral da ETA Sozinha em que se observar laje maciça e pilares de sustentação.	72
Figura 48 - Projeto estrutural da ETA Sozinha, com identificação das lajes e indicação das unidades de tratamento.	73

Figura 49 - Projeto estrutural da ETA Sozinha, com identificação das vigas paredes e indicação das unidades de tratamento.....	74
Figura 50 - Viga parede 7 e 12, onde observa-se a chega de tubulação de água bruta e a ocorrência de manifestações patológicas.....	75
Figura 51 – Manifestações patológicas na viga parede 19. A) Deslocamento, empolamento e sujidade na pintura no meio e na porção superior. B) Deslocamento, empolamento e sujidade na pintura na parte superior da viga parede. C) Outro ponto com degradação da pintura devido a elevada umidade. D) Degradação da pintura na parte superior da viga parede.....	76
Figura 52 – Manifestações patológicas na viga parede 19 após a realização de reparos. A) Continuidade de descolamento e empolamento referenciado na figura 51. B) Descolamento, empolamento e sujidade da pintura, referenciado nas figuras 51C e D.....	77
Figura 53 – Manifestações patológicas na viga parede 6: deslocamento, empolamento e sujidade.	78
Figura 54 - Ocorrência de eflorescência na viga parede 6.....	78
Figura 55 - Manifestações patológicas na viga parede 6. A) Continuidade de eflorescência destacados na figura 54. B) Continuidade de descolamento, empolamento e sujidade referenciados na figura 53.....	79
Figura 56 - Manifestações patológicas na viga 12B.....	79
Figura 57 - Viga parede 12B, observa-se a continuidade de manifestações patológicas após pintura.....	80
Figura 58 - Manifestações patológicas na viga parede 13, onde é possível observar que já foi realizado reparo no local da patologia.	80
Figura 59 – Continuidade de manifestação patológica na viga parede 13 após pintura. A) Detalhe da continuidade de descolamento, empolamento e sujidade da pintura nos pontos 1 e 2 destacados na figura 58. B) Detalhe da manifestação patológica no ponto 1. C) Detalhe da patologia no ponto 2.....	81
Figura 60 - Juntas de concretagem impermeabilizadas nas vigas parede 7 e 12.....	82
Figura 61 - - Viga parede 12 após conclusão da concretagem, onde é possível observar falhas nas juntas de concretagem.	82
Figura 62 - Possível formação de ninhos de concretagem na viga parede 13.....	83
Figura 63 - Vista das juntas de concretagem nas vigas paredes 12 e 13.	84

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ETA	Estação de tratamento de Água
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
NBR	Norma Brasileira
OMS	Organização Mundial da Saúde
PMSB	Plano Municipal de Saneamento Básico
MS	Ministério da Saúde
SAA	Sistema de Abastecimento de Água

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	15
1.1 Objetivos.....	17
1.1.1 Objetivo Geral	17
1.1.2 Objetivos Específicos	17
1.2 Justificativa	18
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	20
2.1 Estação de Tratamento de Água Convencional	21
2.2 Estudo de Patologias.....	24
2.3 Mecanismos de Degradação do Concreto	27
2.3.1 Fissuras.....	27
2.3.2 Desagregação do concreto	28
2.3.3 Carbonatação do concreto	28
2.3.4 Lixiviação e eflorescência	29
2.3.5 Erosão.....	30
2.3.6 Deterioração causada por sulfatos.....	30
2.3.7 Corrosão das Armaduras	31
2.4 Manifestações Patológicas em Unidades de Abastecimento De Água.....	32
3 METODOLOGIA	36
3.1 Pesquisa bibliográfica	36
3.2 Seleção e caracterização do objeto de estudo.....	36
3.3 Método de Lichtenstein	37
3.3.1 Levantamento de Subsídio.....	37
3.3.2 Diagnóstico da situação	38
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	40
4.1 Escolha e Caracterização do Objeto	40
4.2 Estação de Tratamento de Água Lucio Rosa	45
4.2.1 Tratamento preliminar	46
4.2.1.1 Levantamento de Subsídio	47
4.2.1.2 Diagnóstico da situação	50

4.2.2	Tanque de floculação e decantação	50
4.2.2.1	Levantamento de Subsídio	57
4.2.2.2	Diagnóstico da situação	63
4.2.3	Filtros	64
4.2.3.1	Levantamento de Subsídio	68
4.2.3.2	Diagnóstico da situação	71
4.3	Estação de Tratamento de Água Sozinha	71
4.3.1	Levantamento de subsídios	75
4.3.2	Diagnóstico da situação	81
5	CONCLUSÃO	85
6	SUGESTÃO PARA NOVAS PESQUISAS	86
7	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	87

1 INTRODUÇÃO

A água é um recurso imprescindível para a sobrevivência humana, além disso é fundamental para o desenvolvimento econômico, pois é insumo necessário em quase todos os processos produtivos. Embora a água seja um dos recursos naturais mais abundantes na Terra, ocupando cerca de 70% da superfície terrestre (Tucci, 2009), nem sempre ela apresenta característica adequada para determinados usos, entre eles o consumo e ingestão humana.

A água destinada para o consumo humano deve possuir características de qualidade específicas que atendam aos padrões de potabilidade estabelecidos pelo Ministério da Saúde (MS) por meio da Portaria do MS nº 888 (BRASIL, 2021). A maioria das fontes superficiais de água (córregos, ribeirões, rios e lagos) não apresentam características condizentes com tais padrões, portanto, é necessário que a água bruta seja submetida a processos de tratamento para garantir condições seguras aos consumidores e atendimento aos padrões de potabilidade.

Na maioria das cidades brasileiras, o tratamento de água é realizado em Estação de Tratamento de Água (ETA) convencional (IBGE, 2008). A ETA é uma das unidades do sistema de abastecimento de água (SAA), o qual é composto pelo conjunto de instalações operacionais necessárias ao abastecimento público de água potável, o que inclui as estruturas desde a captação até as ligações prediais. Em um contexto mais geral, o abastecimento de água compõe os serviços e infraestrutura de saneamento básico, integrado também pelos serviços públicos de esgotamento sanitário, limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos, drenagem e manejo das águas pluviais (BRASIL, 2007).

A concepção de uma ETA envolve diversas variáveis e o seu projeto deve ser elaborado observando os requisitos da norma NBR 12216 – Projeto de estação de tratamento de água para abastecimento público – (ABNT, 1992, B). Por sua vez, durante a construção da estação são utilizados diversos materiais construtivos, entre eles destacam-se: aço carbono, concreto armado e poliéster reforçado com fibra de vidro. O material utilizado com maior frequência na construção das estações é o concreto armado, em razão de sua disponibilidade, maior conhecimento técnico sobre sua aplicação, facilidade de execução e adaptação do material para diferentes portes (grande, médio ou pequeno) de estação, bem como suas propriedades de estabilidade, durabilidade e capacidade de suportar cargas e sobrecargas.

Além da complexidade dos projetos e obras da ETA, outro aspecto que chama a atenção é a operação contínua dessa unidade, pois sua paralisação pode comprometer todo o funcionamento do SAA. De acordo com normas técnicas e a legislação aplicável, em razão de sua relevância para saúde, economia e qualidade de vida, a operação dos sistemas de abastecimento de água não pode sofrer interrupção ou descontinuidade, exceto em situações emergências ou previamente informadas aos usuários devido às atividades de manutenções preventivas ou corretivas (BRASIL, 2007). Portanto, as ações de controle e manutenção das unidades da ETA devem ser contínuas; entre tais atividades destaca-se a necessidade de levantamento, identificação e tratamento das manifestações patológicas das instalações que compõem o sistema.

Sabe-se que a água é um dos agentes mais agressivos ao concreto (MEHTA E MONTEIRO, 2008), pois é considerado o solvente universal, podendo provocar a degradação do concreto por processos físicos, químicos, bem como possibilitar o transporte para o interior do concreto de substâncias potencialmente danosas, como os cloretos ou sulfatos, substâncias utilizadas no processo de tratamento de água.

Dessa maneira, o concreto armado, comumente utilizado para construção de ETA, está susceptível à deterioração de maneira mais acentuada nas estações, pois está sujeito a uma série de agentes agressivos, tais como a água, cloretos e sulfatos. A presença dessas substâncias caracteriza a ETA como um ambiente com classe de agressividade ambiental muito forte, conforme a NBR 6118 (ABNT, 2014) e NBR 12655 (ABNT, 2015). Para redução da degradação do concreto é necessário que o projeto executivo da estação traga especificações condizentes com a agressividade do ambiente, além disso durante a execução é necessário controle contínuo de sua qualidade. Ainda, é possível reduzir a degradação com uso de camadas de proteção, com a aplicação de impermeabilizantes ou aditivos.

Embora a ETA seja uma estrutura fundamental para promoção da saúde pública no ambiente urbano, muitas vezes durante sua construção e operação são ignorados a adoção de técnicas adequadas para garantir a durabilidade da estrutura, resultando na sua deterioração, o que pode ocorrer em curto, médio ou longo espaço de tempo, em consequência de especificações incorretas na fase de projeto, ou da execução das obras sem controle de qualidade adequado, ou até mesmo pela inexistência de programas de manutenção durante a vida da estrutura.

Diversos estudos foram realizados sobre a ocorrência de manifestações patológicas em unidades de saneamento (Borges, 2008; Dias, 2014; Gomes, 2016; Torres, 2016; Santana, 2017; Toretti, 2017), predominando-se pesquisas relacionadas com sistemas de esgotamento sanitário e manifestações patológicas em reservatórios de água. É esperado que ocorra com frequência manifestações patológicas em Estações de Tratamento de Água, porém estudos específicos sobre essas unidades são menos expressivos na literatura.

Dessa maneira, este trabalho realizou a análise de manifestações patológicas nas estruturas de concreto armado de Estações de Tratamento de Água por meio de estudo de caso no município de Senador Canedo – Goiás. A pesquisa permitiu identificar as patologias que ocorrem nesses locais, bem como levantar hipótese para as origens e causas.

1.1 Objetivos

Para melhor compreensão dos objetivos e resultados dessa pesquisa, optou-se em definir o objetivo geral e estabelecer objetivos específicos.

1.1.1 Objetivo Geral

Analisar a ocorrência de manifestações patológicas em estruturas de concreto armado em Estações de Tratamento de Água.

1.1.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos desse trabalho são:

- Levantar e identificar manifestações patológicas existentes em estruturas de concreto das Estações de Tratamento de Água de uma cidade na região metropolitana de Goiânia – levantamento de subsídios;
- Analisar a origem e as prováveis causas das manifestações patológicas – diagnóstico da situação.

1.2 Justificativa

Por se tratar de um ambiente que apresenta elevada agressividade ao concreto armado, é razoável promover levantamentos de manifestações patológicas em ETA. Além disso, outros fatores são motivadores para tal investigação, a saber: i) o funcionamento da ETA não pode ser interrompido em razão de sua importância para o fornecimento de água com qualidade adequada aos consumidores; ii) as ações de reparação das estruturas de concreto armado em ETA são complexas de serem executadas, o que pode demandar a interrupção do tratamento de água e no fornecimento de água para consumo humano; iii) nem sempre os responsáveis pela operação da ETA possuem plano de manutenção preventiva e corretiva; iv) importância da contínua investigação da existência de manifestações patológicas, visando a proposição de um plano de manutenção.

Chama-se atenção também os custos envolvidos nas atividades de reparação, quanto mais tardia sua identificação maior serão os custos. De acordo com a Lei de Sitter (Sitter, 1984 *apud* Helene, 1992) – Figura 1, os custos de recuperação dependem da etapa em que a patologia foi detectada – projeto, execução, manutenção preventiva ou corretiva -, sendo que ocorre evolução dos custos ao longo do tempo segundo uma progressão geométrica de razão 5. Helene (1992) destaca-se que se tais problemas forem negligenciados tem-se a evolução, agravamento e surgimento de outros danos, podendo criar condições de instabilidade e comprometimento de uso da estrutura.

Figura 1 - Relação do custo de manutenção com o tempo, Lei de Sitter



Fonte: Sitter, 1984 *apud* Helene, 1992.

Além disso, a análise contínua das condições estruturais da ETA, bem como outras unidades que compõem o SAA, permite uma gestão de ativos com foco na melhoria contínua dos serviços públicos de abastecimento de água, sendo que os problemas detectados em estações existentes podem ser prevenidos quando da construção de novas estações, bem como auxiliar no gerenciamento de reformas das unidades existentes.

Ainda, a ocorrência de manifestações patológicas pode resultar na perda de água ao longo das unidades de tratamento de água, ocasionando a redução da vazão de água tratada para consumo humano, demandando a captação de maiores volumes de recursos hídricos, aumentando o custo operacional e a pressão sobre os recursos naturais.

Portanto, essa pesquisa foi de grande relevância para identificar e sistematizar as ocorrências de manifestações patológicas em ETA, organizando o entendimento de quais são as principais origens, causas, natureza, mecanismos e agentes que desencadearam tais patologias. Além disso, a literatura técnica não dispõe quantitativamente de estudos específicos sobre manifestações patológicas em Estações de Tratamento de Água executadas em concreto armado.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O saneamento básico tem um papel fundamental na promoção da saúde pública das populações, principalmente daquelas em áreas urbanas. De acordo com estimativas da Organização Mundial da Saúde (OMS) para cada dólar investido em água e saneamento há uma economia de aproximadamente 4,3 dólares em custos de saúde (SALLA et al, 2019).

A Lei Federal nº 11.445 (BRASIL, 2017) define saneamento básico como o conjunto de serviços públicos, infraestruturas e instalações operacionais de abastecimento de água, esgotamento sanitário, limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos, drenagem e manejo das águas pluviais urbanas.

Por sua vez, o abastecimento de água é definido como o conjunto de serviços, infraestrutura e instalações operacionais necessárias ao abastecimento público de água potável, o que envolve as estruturas desde a captação até as ligações prediais e seus instrumentos de medição (BRASIL, 2007).

O SAA é composto pelas seguintes unidades: i) manancial; ii) captação de água; iii) adução; iv) estações elevatórias; v) tratamento; vi) reservatórios; e vii) rede de distribuição. Tais unidades devem estar integradas para alcançar o objetivo do sistema, que consiste em fornecer água em quantidade e qualidade suficiente para atender às demandas dos usuários do sistema (HELLER E PADUA, 2010).

Cada uma das unidades do sistema de abastecimento de água tem suas especificidades, as quais são estabelecidas desde o estudo de concepção de cada uma delas. A NBR 12211 (ABNT, 1992, A) define os estudos de concepções de sistemas públicos de abastecimento de água; existem ainda outras normas da ABNT que especificam critérios para os projetos de concepção de cada uma das unidades, entre elas a ETA – NBR 12216 (ABNT, 1992, B).

No que se refere às condições de qualidade de água, o Ministério da Saúde, estabelece um conjunto de parâmetros para caracterizar a água, definindo também padrões de potabilidade, ou seja, limites mínimos ou máximos para cada um dos parâmetros de qualidade, conforme previsto na Portaria MS nº 888 (BRASIL, 2021). Tais padrões foram definidos visando garantir segurança para a população que utiliza a água nas diversas atividades cotidianas.

O Ministério da Saúde define água para consumo humano como aquela destinada à ingestão, preparação de alimentos e à higiene pessoal,

independentemente de sua origem, sendo que água potável é aquela que atenda ao padrão de potabilidade e não ofereça risco à saúde.

O Conselho Nacional do Meio Ambiente (Conama), órgão que estabelece normas sobre a qualidade e o uso dos recursos naturais, entre eles a água, definiu, por meio da Resolução Conama nº 357 (BRASIL, 2005), a classificação dos corpos hídricos de água doce, conforme os usos preponderantes de recursos hídricos. Tal norma classificou os corpos hídricos de água doce em cinco classes: Especial, Classe 1, Classe 2, Classe 3 e Classe 4. Para cada uma das Classes a norma indicou qual seria o tratamento de água prévio ao consumo humano, sendo que aquelas de melhores qualidade, Classe Especial ou Classe 1, podem ser submetidas a simples desinfecção ou ao tratamento simplificado; as águas de Classe 2, na qual se insere a maioria das fontes de água superficiais, devem ser submetidas ao tratamento convencional, e as de Classe 3, dependendo das condições de qualidade devem ser submetidas ao tratamento convencional ou avançado, a de Classe 4 não é recomendada ao consumo humano, independente do processo de tratamento.

O tratamento convencional é o mais utilizado no Brasil, pois se trata de um processo satisfatoriamente completo e eficiente. Pesquisa realizada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2008) em todo território nacional, apontou que dos 5.568 municípios brasileiros que possuem tratamento de água, 2.824, ou seja, 50,75%, utilizam o tratamento o convencional. No que se refere ao estado de Goiás, a pesquisa apontou que 60,97% dos 246 municípios possuem Estações de Tratamento de Água que utilizam o processo convencional.

2.1 Estação de Tratamento de Água Convencional

O tratamento convencional de água é dividido em 6 etapas principais, a saber: Coagulação, Floculação, Decantação, Filtração, Cloração e Fluoração (Figura 2), as quatro primeiras etapas têm por função aglomerar e retirar as partículas sólidas dissolvidas na água, enquanto as duas últimas têm por finalidade a adição de elementos químicos para garantir o atendimento aos padrões de potabilidade estabelecidos pelo Ministério da Saúde. Na Figura 3 é possível observar as unidades de floculação, decantação e filtração da ETA Mauro Borges, no município de Goiânia.

adição de coagulantes com a finalidade de reduzir as forças que mantêm separadas as partículas em suspensão, permitindo em sequência a formação de flocos.

Segundo Heller e Pádua (2010) entre os coagulantes usualmente utilizados estão o sulfato de alumínio, cloreto férrico, sulfato ferroso clorado, sulfato férrico e hidroxícloreto de alumínio. Richter (2009) aponta que o coagulante mais utilizado no Brasil é o sulfato de alumínio, provavelmente devido ao menor custo e disponibilidade em todas as regiões do país.

A aplicação do coagulante na água ocorre na chegada da água bruta na ETA, especificamente na calha Parshall. No final da calha Parshall ocorre a mistura rápida da solução (água e coagulante) por meio de um ressalto hidráulico, onde o escoamento ocorre em regime turbulento.

As reações químicas que começam na etapa de mistura rápida podem ter sequência no floculador, porém nessa etapa ocorre a agitação lenta, permitindo que as impurezas suspensas na água tenham tempo e energia suficiente para se colidir e se aglomerar formando flocos de sujeira, caracterizando a etapa denominada de floculação. Segundo Di Bernardo e Sabogal Paz (2008) a floculação pode ser realizada com misturadores hidráulicos (chicanas) ou mecanizados (câmaras de mistura e variados tipos de agitadores).

Nas estações convencionais é comum a construção de decantadores, que são estruturas de grande volume onde os flocos de sujeira formados durante os processos de coagulação e floculação, têm tempo suficiente para se separar do líquido e, por meio da energia gravitacional, atingir o fundo do recipiente podendo ser removida com facilidade (HELLER E PÁDUA, 2010). Dessa forma a quantidade de sujeira que deve ser retirada nos filtros rápidos é menor e aumenta o tempo entre as limpezas destes.

Nos decantadores ocorre a sedimentação dos flocos, tal processo é o fenômeno físico que ocorre devido à ação da gravidade, onde os flocos apresentam movimento descendente em meio líquido, o que proporciona a clarificação da água em razão da separação das fases líquida e sólida (DI BERNARDO E SABOGAL PAZ, 2008).

Em sequência tem-se o filtro, o qual corresponde a última etapa relativa à separação de sólidos da água, nessa unidade a filtração se dá pela ação de três mecanismos: transporte, aderência e desprendimento. Dessa forma, ao ser conduzida por um meio poroso, as partículas de sujeira aderem-se ao filtro por meio de forças de atrito, quando as partículas se aderem entre as partículas de areia do filtro elas

reduzem a área disponível e isso aumenta as forças cisalhantes que fazem com que algumas partículas se desprendam e sejam conduzidas até a próxima camada do filtro, onde o processo se repete (RICHTER; AZEVEDO, 2011).

Ainda, no tratamento convencional tem-se as etapas de desinfecção e fluoretação. A desinfecção tem como finalidade a produção de uma água isenta da presença de microrganismos patogênicos, cuja inativação realiza-se por agentes químicos ou físicos (LIBÂNIO, 2010). A desinfecção química se caracteriza pelo uso de elementos ou compostos com potencial de oxidação, incluído o cloro, o dióxido de cloro, peróxido de hidrogênio, ozônio, entre outros. Os agentes físicos, apresentam ação referenciada a energia de radiação, destacando-se a radiação Ultravioleta (UV) em sistemas coletivos, a radiação solar e, em nível domiciliar à fervura em sistemas individuais (LIBÂNIO, 2010). Normalmente, o processo mais utilizado é desinfecção química mediante a adição de cloro.

O processo de tratamento de água finaliza-se com a adição de flúor, processo denominado de fluoretação ou fluoração. Tal procedimento tem como objetivo agir preventivamente contra a decomposição do esmalte dos dentes (HELLER E PÁDUA, 2010).

2.2 Estudo de Patologias

Para Helene (1992) patologia pode ser entendida como parte da engenharia que estuda os sintomas, os mecanismos, as causas e as origens dos defeitos das construções civis. Segundo Souza e Ripper (1998) trata-se de um novo campo da engenharia das construções, na qual busca-se estudar a origem, as formas de manifestações, as consequências e mecanismos de ocorrência das falhas e dos sistemas de desagregação das estruturas.

Para Helene (1992) os sintomas, também denominados de lesões, danos, defeitos ou manifestações patológicas, podem ser descritos e classificados a partir de um diagnóstico realizado por minuciosas e experientes observações visuais.

Os sintomas ou manifestações patológicas mais comuns em estruturas de concreto são: fissuras, eflorescências, flechas excessivas, manchas no concreto aparente, corrosão de armaduras e ninhos de concretagem (segregação dos materiais constituintes de concreto, Helene (1992) apresenta uma distribuição relativa da

incidência de manifestações patológicas, sendo as mais frequentes são as manchas superficiais e fissuras, conforme indicado na Figura 4.

Figura 4 – Distribuição relativa da incidência de manifestações patológicas.



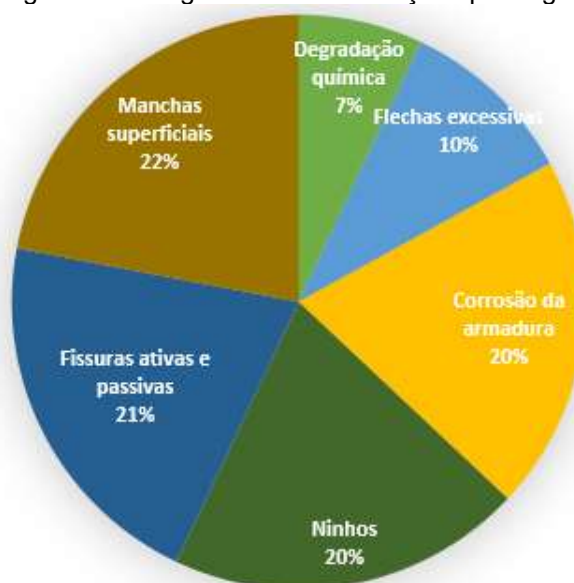
Fonte: Helene, 1992.

Dentro da ciência de patologia, denomina-se mecanismo o processo que provoca o desenvolvimento da patologia, sendo que conhecer os mecanismos do problema é fundamental para proposição de soluções adequadas (HELENE, 1992).

A origem das manifestações patológicas corresponde à identificação da fase em que ocorreu erro que resultaram a patologia, segundo Helene (1992) as origens podem ser divididas em cinco etapas: planejamento, projeto, materiais, execução e uso. Salienta-se que um bom diagnóstico deve indicar em qual etapa houve a origem da patologia, o que permite identificar onde ocorreu a falha, seja ela no projeto, na execução ou no uso. Conforme indicado na Figura 5 a origem das manifestações patológicas ocorre com maior frequência nas fases de projeto e execução (HELENE, 1992).

Por sua vez, a causa é o motivo que desencadeou a patologia, os agentes causadores podem ser vários, a saber: cargas, variação da umidade, variações térmicas intrínsecas e extrínsecas ao concreto, agentes biológicos, incompatibilidade dos materiais, agentes atmosféricos entre outros (HELENE, 1992).

Figura 5 - – Origem das manifestações patológicas.

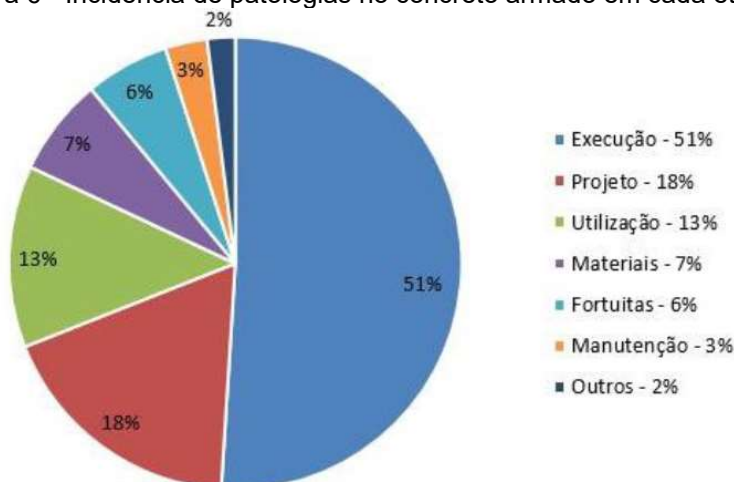


Fonte: Helene, 1992.

Santana (2017) aponta que no Brasil a principal causa de patologias em obras de concreto armado são erros de execução, seguidos por inconformidades no projeto das estruturas, conforme Figura 6.

Por fim, um bom diagnóstico das manifestações patológicas se completa com as considerações sobre as consequências do problema no comportamento geral da estrutura, o que se denomina de prognóstico, no qual deve-se separar as considerações em dois tipos: as que afetam as condições de segurança da estrutura (associadas ao estado limite último) e as que comprometem as condições de higiene, estética, ou seja, relacionadas as condições de serviço e funcionamento da construção (HELENE, 1992).

Figura 6 - Incidência de patologias no concreto armado em cada etapa.



Fonte: AECWeb *apud* Santana (2017)

2.3 Mecanismos de Degradação do Concreto

Segundo Aguiar (2012) os principais processos que podem desencadear a degradação do concreto ocorrem por causas físicas e/ou química, os processos físicos podem ser classificados em desgastes superficiais e fissurações; os ataques químicos também provocam desgastes superficiais devido às trocas iônicas entre fluídos agressivos (sulfatos e cloretos). Kormann (2002) aponta que os processos físicos e químicos são complementares, por exemplo, quando da ocorrência da erosão por processo físico tem-se a exposição do concreto aos agentes químicos agressivos.

De acordo com Mehta e Monteiro (2008) a água é um dos principais agentes com capacidade de provocar a degradação do concreto, sendo que a taxa de deterioração de uma estrutura está relacionada a velocidade que a água consegue penetrar nos poros do concreto; portanto para edificações que tenha contato com a água, como é o caso da ETA, é de grande relevância os projetos e a execução de sistemas de impermeabilização.

Neville e Brooks (2013) apontam que a durabilidade do concreto está diretamente relacionada à sua permeabilidade, tanto à água como de outros fluídos, sendo que é a permeabilidade que torna possível o transporte de agentes agressivos para o interior do concreto, provocando sua deterioração.

A presença de água também desencadeia o desgaste do concreto, provocando: erosão, corrosão das armaduras, corrosão do aço induzida pela redução do pH do concreto, corrosão do aço induzida por cloretos, mecanismos de corrosão das armaduras, desagregação do concreto por biodeterioração (DIAS, 2018).

2.3.1 Fissuras

Segundo a NBR 15575-2 (ABNT, 2013) as fissuras são aberturas, seccionamentos, na superfície ou em toda a seção transversal da estrutura, que foram provocadas por tensões normais ou tangenciais, podendo ser classificadas em ativas (surge da variação da abertura em função de movimentações higrotérmicas) ou passivas (aberturas constantes). O limite máximo da abertura de fissuras é de 0,2 mm a 0,4 mm, conforme indicado na NBR 6118 (ABNT, 2014).

Quando as fissuras têm abertura superior a 0,6 mm elas podem ser classificadas como trincas (Santana, 2017), normalmente elas são decorrentes de projetos incompatíveis (fundação, arquitetônico e estrutural) ou mal detalhados, pela interferência das instalações da edificação, pelas falhas no planejamento e na execução, ou ainda pela falta de mão de obra especializada e falta de fiscalização.

Thomaz (2002) *apud* Santana (2017) relaciona as principais causas de fissuras, a saber: movimentação térmica, movimentação higroscópica (umidade), atuação de sobrecarga, recalques e alteração química dos materiais. A origem desses problemas podem ser diversos: deficiência de projeto, contração plástica, movimentação de escoramentos e/ou formas, retração, reação expansiva – a mais conhecida é a reação álcali-agregado -, corrosão da armadura, variação da temperatura.

2.3.2 Desagregação do concreto

Segundo Souza e Ripper (1998) a desagregação do concreto consiste na separação de placas ou fatias do concreto decorrente da perda da ligação entre os agregados e da função aglomerante do cimento. Dessa maneira o concreto perde sua coesão, reduzindo sua resistência mecânica. Tal processo pode ser provocado pela fissuração, movimentação de formas, corrosão do concreto, calcinação e ataques biológicos.

2.3.3 Carbonatação do concreto

O gás carbônico é um gás abundante na atmosfera terrestre, quando ele entra em contato com a umidade do ar formará o ácido carbônico (H_2CO_3) o qual pode ser responsável pelo fenômeno da carbonatação do concreto. O gás carbônico do ambiente entrará na estrutura de concreto por meio de difusão pelos poros úmidos, e provocará reação com o hidróxido de cálcio contido na pasta de cimento, formando o carbonato de cálcio (CaCO_3). O carbonato de cálcio não é prejudicial por si mesmo, mas sua formação provoca a redução do pH do concreto. Souza e Ripper (1998) aponta que nessas situações o pH do concreto poderá atingir valores inferiores a 9, sendo que quanto maior for a concentração de gás carbônico menor será o pH, consequentemente mais espessa será a camada de concreto carbonatada.

Para Souza e Ripper (1998) se o processo de carbonatação se restringisse a camada superficial do concreto, poderia ser um processo benéfico para a estrutura, pois aumentaria a resistência química e mecânica, no entanto, em razão da porosidade e do nível de fissuração a carbonatação pode atingir a armadura e provocar o processo de corrosão.

Normalmente, o processo de carbonatação ocorre em meios agressivos onde há maior concentração de gás carbônico somado a presença de umidade, segundo Souza e Ripper (1998) caso o concreto estiver saturado, com 0,5% a 1% (em volume) de água nos poros do concreto não será possível ocorrer a carbonatação.

Segundo a NBR 6118 (ABNT, 2014) a carbonatação pode resultar na despassivação da armadura, sendo que as medidas para evitar tal manifestação patológica consiste em dificultar o ingresso dos agentes agressivos ao interior do concreto. O cobrimento das armaduras e o controle da fissuração minimizam este efeito, sendo recomendável um concreto de baixa porosidade ou ainda a impermeabilização da superfície. Ainda, segundo Cascudo (1997) a carbonatação pode ser minimizada com a adoção de técnicas construtivas adequadas durante as fases de execução da estrutura, tais como transporte, lançamento, adensamento e cura do concreto de forma a reduzir a formação de poros no concreto, assim como as condições ambientais de exposição, devido a maior ou menor presença de gás carbônico.

2.3.4 Lixiviação e eflorescência

Segundo Santana (2017) a lixiviação é um processo de dissolução e transporte da cal hidratada presente na massa de cimento, sendo provocada pelo ataque de águas puras ou com impurezas. Para Souza e Ripper (1998) a lixiviação é um dos mecanismos que resulta na corrosão do concreto, processo que consiste na dissolução e arraste do hidróxido de cálcio (Ca(OH)_2) existente na massa de cimento Portland endurecido. A dissolução, o transporte e a disposição do hidróxido de cálcio poderão resultar na formação de estalactites e estalagmites. A lixiviação é bastante nociva, pois permite a entrada de fluidos agressivos às armaduras e ao concreto.

Santana (2017) define eflorescência como a ocorrência do processo de lixiviação e a formação de depósitos de sais de hidróxido de cálcio na superfície do concreto. Para o desenvolvimento desse processo deve agir em conjunto os seguintes

fatores: teor de sais solúveis, pressão hidrostática para proporcionar a migração para superfície e presença de água. A água é o principal catalisador dessa patologia, ela vai percolando através de fissuras ou pelos poros do concreto, provocando a dissolução do hidróxido de cálcio presente no cimento, com a evaporação da água ocorre a formação de depósitos de sais no exterior do concreto.

2.3.5 Erosão

O processo de erosão do concreto pode ser definido como a passagem da água, contendo partículas sólidas em suspensão, provocando o desgaste superficial do concreto e a remoção da pasta superficial de cimento, bem como o carregamento do agregado miúdo e a exposição do agregado graúdo (MEHTA, MONTEIRO, 2008). Tal processo decorre-se do desgaste pela ação abrasiva de fluídos contendo partículas sólidas em suspensão (areia, cascalho e pedras), muito comum em estruturas hidráulicas, como canais, vertedouros ou tubulações.

As principais propriedades que influenciam na ocorrência de erosão no concreto são: i) propriedade das partículas transportadas pela água – tamanho, forma, dureza e quantidades -; ii) velocidade do fluxo; iii) ângulo de contato; iv) qualidade do concreto; v) relação água/cimento (porosidade); e vi) aderência entre os agregados e a pasta de cimento (Kormann, 2002).

Mesmo que um concreto apresente elevada resistência à compressão ele pode não ser resistente à erosão, pois esse processo está relacionado a resistência superficial, logo, para garantir um bom desempenho quanto a este aspecto é necessário a adoção de algumas das seguintes medidas: utilizar agregados com maior dureza, lançamento e adensamento adequado, baixo teor de ar incorporado, cuidados com a exsudação, uma vez que pode resultar no aumento da relação água/cimento na superfície e cuidados com o acabamento superficial do concreto e seu processo de cura (MEHTA E MONTEIRO, 2008).

2.3.6 Deterioração causada por sulfatos

Para Aguiar (2012) todos os sulfatos tem potencial para provocar danos ao concreto, uma vez que pode reagir com a pasta de cimento hidratada, normalmente,

os íons de sulfatos reagem com o hidróxido de cálcio Ca(OH)_2 e o aluminato tri-cálcio (C_3Al), originando a etringita e o gesso, ocasionando a expansão que exercem pressão e provoca a desintegração da pasta de cimento, portanto, o ataque é devido à sua ação expansiva, que pode gerar tensões capazes de fissurar o concreto.

2.3.7 Corrosão das Armaduras

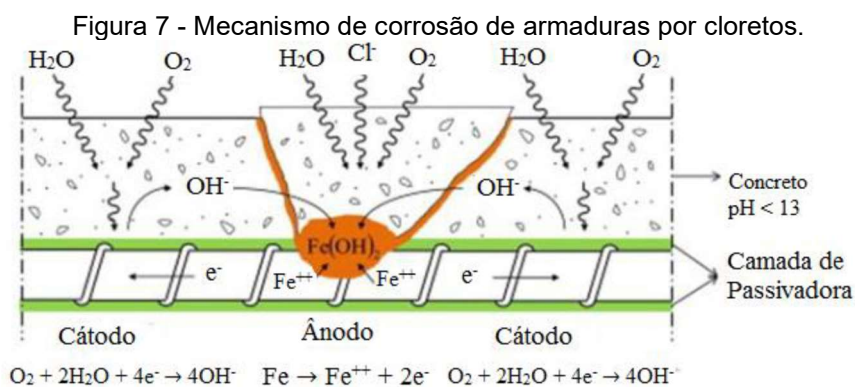
Segundo Cascudo (1997) a corrosão das armaduras é o processo em que o metal é oxidado devido à interação com o meio, ocasionando a perda de resistência mecânica, elasticidade e ductilidade. Para o autor, trata-se de um caso específico de corrosão eletroquímica em meio aquoso, onde a corrosão das armaduras se divide em duas fases: inicial e propagação. A fase inicial corresponde ao período da confecção da estrutura até o momento em que a armadura é despассивada por um agente agressivo podendo ser por carbonatação ou por ação de cloretos. A propagação é o período em que os ataques continuam até que a estrutura esteja comprometida.

Um dos principais processos que provocam a corrosão das armaduras é a carbonatação, a qual ocorre à medida que o gás carbônico (CO_2) percolar no concreto e reage com a portlandita (Ca(OH)_2), formando o Carbonato de Cálcio (CaCO_3), reduzindo o pH do concreto, normalmente o pH varia numa faixa de 11 a 13, já na frente de carbonatação o pH é inferior a 9. A redução do pH por carbonatação expõe a armadura à ação de agentes deletérios por proporcionar a desconstituição da camada passivadora do aço que protege contra a corrosão (Cascudo, 1997).

A corrosão da armadura ainda pode ser induzida pela ação de cloretos. Segundo a NBR 12655 (ABNT, 2015) a presença de cloretos caracteriza condição especial de exposição, sendo que devem ser atendidos requisitos mínimos de durabilidade do concreto para a máxima relação água/cimento e a mínima resistência característica. A referida norma aponta como condições especiais a exposição a cloretos provenientes de degelo, sais, água salgada, água do mar, ou respingos ou borrifação desses agentes. Enquadra-se nessas categorias as unidades da ETA onde ocorre a desinfecção com a utilização de cloro. A NBR 6118 (ABNT, 2014) trata do problema de despассивação por ação de cloretos, provocado pela ruptura da camada de passivação, em razão do elevado teor do íon cloro. Para a norma as medidas preventivas desse processo consistem em dificultar o ingresso de agentes agressivos

ao interior do concreto, o que pode ser alcançado com o cobrimento das armaduras e o controle da fissuração; recomenda também o uso de cimento com adição de escória ou material pozzolânico.

Cascudo (1997) aponta que os cloretos penetram no concreto por dois mecanismos de transporte: absorção capilar (para camadas superficiais) e difusão iônica (para camadas internas com a presença de um eletrólito). Após a contaminação do concreto com cloretos forma-se um tipo de sal (cloraluminato de cálcio), sendo que alguns ficam adsorvidos nos poros, mas ainda restam íons livres de cloro, os quais são responsáveis pela corrosão da armadura, provocando a acidificação e desestabilização da camada passivadora do aço. Tal processo é demonstrado no esquema elaborado por Sadovski (2014), figura 7.



Fonte: Sadovski (2014)

2.4 Manifestações Patológicas em Unidades de Abastecimento De Água

As principais pesquisas sobre a ocorrência de patologias em concreto armado em obras de saneamento básico estão relacionadas com esgotamento sanitário, principalmente em estações de tratamento de esgoto. No tocante aos sistemas de abastecimento de água, grande parte das pesquisas foram relacionadas a reservatórios de água, sendo poucos trabalhos em estações de tratamento de água.

Diniz et al (2015) analisou a ocorrência de manifestações patologias na ETA do município de Monteiro - Paraíba, e sua relação com perdas de água (vazamentos). Segundo o autor as fissuras foram a principal manifestação patológica encontrada, tal problema ocorre devido aos seguintes fatores: à baixa resistência à tração sob as ações de serviço e utilização da estação e retração térmica.

Torres et al (2016) realizaram estudo sobre as manifestações patológicas em reservatório elevados executados em concreto armado na zona urbana de Pelotas - Rio Grande do Sul. Foram identificados os seguintes sintomas: fissuras, sujidade (manchas), deslocamentos, corrosão das armaduras e lixiviação. Para os autores tais problemas são decorrentes da falta de manutenção periódica e especificações inadequadas de projeto, referentes aos estribos de pilares e vigas e cobrimento mínimo, o que foi determinante para propagação da corrosão das armaduras.

Lopes (2018) analisou as manifestações patológicas e o grau de deterioração da estrutura de concreto armado de um tanque de aplicação de produto químico (TAPQ), especificamente cloro e flúor, na ETA do rio Descoberto, localizada na cidade de Ceilândia no Distrito Federal. O autor relata a ocorrência dos seguintes sintomas: corrosão de armaduras e perda acentuada de seção (Figura 8), desagregação do concreto (Figura 9), corrosão de tubulações, impermeabilização danificada, erosão e perda de seção das armaduras (Figura 10).

Figura 8 - Corrosão de armadura em tanque de produto químico em uma ETA.



Fonte: Lopes, 2018.

Figura 9 - Desagregação do concreto em um tanque de produto químico de uma ETA



Fonte: Lopes, 2018

Figura 10 - Erosão e perda da armadura em um tanque de produto químico de uma ETA



Fonte: Lopes, 2018

Gomes e Santos (2016) desenvolveram trabalho de pesquisa com o objetivo de listar os tipos de patologia em reservatórios de água executados em concreto armado na cidade de Viçosa, Minas Gerais, nos quais relacionaram os seguintes sintomas: fissuras, trincas, bolor e ausência de cobrimento das armaduras.

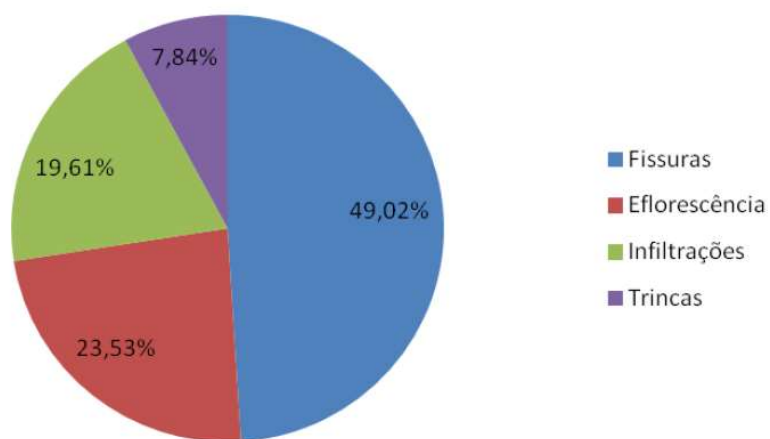
Borges (2008) também desenvolveu estudo sobre a ocorrência de manifestações patológicas em reservatórios elevados no estado da Bahia, a pesquisa constatou que os problemas encontrados com maior frequência nas estruturas de concreto são: percolação e/ou infiltração de água, corrosão de armaduras, fissuras e carbonatação.

Santana (2017) também realizou levantamento de manifestações patológicas em reservatórios na cidade de Alegrete – Rio Grande do Sul, além de inspeção visual foi utilizado técnica termográfica digital para identificar anomalias patológicas ocultas, as patologias mais recorrentes foram: fissuras (horizontais, verticais e mapeadas), manchas causadas por bolor e fungos, corrosão das armaduras e umidade na superfície. Segundo o autor a maioria das manifestações patológicas é a grande variação térmica na região.

Toretti e Speck (2017) apresentaram uma proposta de metodologia para tratamento de patologias recorrentes em reservatórios de água potável, em concreto armado. O trabalho analisou 25 reservatórios na cidade de Criciúma – Santa Catarina, onde constaram que as patologias mais frequentes são eflorescência, infiltração e trincas. A figura 11 apresenta o percentual de ocorrência de cada uma das patologias. A solução apresentada para tratamento das patologias, especificamente para reparo

de fissuras, consistiu na aplicação de dois produtos: uma cola epóxi e um adesivo estrutural subaquático.

Figura 11 - Percentual da ocorrência das patologias em reservatórios.



Fonte: Toretti e Speck (2017).

3 METODOLOGIA

A metodologia dessa pesquisa foi concebida visando realizar estudo de caso referente a ocorrência de manifestações patológicas em estruturas de concreto armado em Estação de Tratamento de Água na região metropolitana de Goiânia. Dessa maneira, a metodologia foi dividida nas seguintes etapas: i) pesquisa bibliográfica, ii) seleção e caracterização da área (local) de estudo, iii) método de Lichtenstein (levantamento de subsídio e diagnóstico da situação).

3.1 Pesquisa bibliográfica

Para o desenvolvimento desse trabalho foi realizada pesquisa bibliográfica contínua visando compilar o conhecimento publicado e divulgado pela literatura técnica e científica sobre manifestações patológicas em obras relacionadas a sistemas de abastecimento de água, especialmente nas unidades de tratamento de água executadas em concreto armado.

O trabalho de revisão bibliográfica consistiu no levantamento de dados, informações, metodologias e resultados divulgados em livros, periódicos digitais, revistas, artigos científicos e anais de congressos. Tais informações foram utilizadas para subsidiar a fundamentação teórica da pesquisa, bem como comparar resultados obtidos em pesquisas semelhantes.

3.2 Seleção e caracterização do objeto de estudo

Considerando que a pesquisa se trata de um estudo de caso sobre manifestações patológicas em estruturas de concreto armado de Estação de Tratamento de Água (ETA), foi selecionado um sistema de abastecimento de água, localizado na região metropolitana de Goiânia, para o desenvolvimento do trabalho.

Na referida região se destacaram três sistemas: i) Sistema João Leite, considerado o primeiro sistema de abastecimento da cidade de Goiânia, cuja Estação de Tratamento de Água (ETA) foi inaugurada em 1953; ii) Sistema Meia Ponte, segundo sistema de abastecimento da cidade de Goiânia, sendo que a ETA Meia

Ponte foi inaugurada em 1988; e iii) sistema de abastecimento da cidade de Senador Canedo, cuja estação de tratamento de água foi inaugurada na década de 1980.

A partir da escolha do SAA, foi realizada uma breve caracterização da cidade e do sistema, descrevendo as principais intervenções de ampliações e melhorias da capacidade de tratamento de água. Nessa etapa foram utilizadas imagens de satélites disponíveis no *software Google Earth*.

3.3 Método de Lichtenstein

A análise de manifestações patológicas em Estação de Tratamento de Água foi realizada pelo método descrito por Norberto Blumenfeld Lichtenstein, quando publicou o Boletim Técnico 06/86 intitulado “Patologia das construções: procedimento para diagnóstico e recuperação”, conhecido como método Lichtenstein (1986). Tal método apresenta um procedimento genérico que pode ser empregado independente da experiência técnica e da complexidade do problema.

O método apresentado por Lichtenstein (1986) é composto por três partes distintas: i) levantamento de subsídios; ii) diagnóstico da situação, e iii) definição de conduta. Entretanto, esse estudo de caso limitou-se a levantar e diagnosticar as manifestações patológicas observadas durante inspeção visual.

3.3.1 Levantamento de Subsídio.

O levantamento de subsídio foi realizado por meio de vistorias ao local de investigação, quando foram realizadas inspeções com a finalidade de levantar o maior número de informações através do exame visual minucioso, o que permitiu a identificação da existência e gravidade da manifestação patológica, bem como prévia caracterização dos materiais e anomalias.

Destaca-se que a análise visual é caracterizada como um método empírico e pode ser considerada a maneira mais simples para levantamento de manifestações patológicas. Entretanto, é uma das mais importantes, pois permite a identificação visual das manifestações patológicas, contribuindo de forma significativa para elaboração e diagnóstico de boa parte das patologias (DIAS, 2018). Por meio da análise visual é possível fazer um pré-diagnóstico, onde pode-se estabelecer a forma de atuação, e, posteriormente, recolher informações de forma a permitir a

compreensão do todo, por fim, elaborar o diagnóstico da situação referente a patologias nas edificações.

Ainda, durante a inspeção visual foi possível registrar as manifestações patológicas por meio de fotografias, as quais permitiram um diagnóstico mais preciso da situação e serviu como acervo fotográfico para a análise das condições de conservação da estação em momentos futuros, avaliando assim a evolução da patologia, ou o seu processo de reparação.

Embora trate-se de uma metodologia simples, o sucesso da aplicação depende de alguns aspectos relevantes, conforme destacado por Flores-Colen (2009) que aponta algumas limitações, a saber: i) subjetividade da avaliação, que depende da experiência do inspetor; ii) dificuldade e indisponibilidade de acessar informações anteriores da construção e intervenções pretéritas; iii) dificuldade de acesso a toda estrutura por motivos diversos, como altura, profundidade, entre outros.

3.3.2 Diagnóstico da situação

Após a vistoria, cuja finalidade foi o levantamento de subsídios, realizou-se o registro dos resultados, o que foi feito manualmente através de croquis e indicações em plantas e cortes, associados com fotografias. Em sequência teve a etapa de diagnóstico da situação.

Segundo Lichtenstein (1986) quando não é possível o diagnóstico da patologia durante a vistoria no local é necessário o levantamento de outras informações por meio do processo denominado anamnese, ou seja, trata-se da investigação das informações pretéritas relacionadas com a evolução do problema e o quadro geral de desempenho da edificação ao longo dos anos, assim como o registro de intervenções realizadas. Essas informações foram obtidas junto ao Departamento de Engenharia da empresa responsável pela ETA. Ainda, foi requerido, junto a empresa responsável pela estação, a disponibilização dos projetos executivos, dos relatórios de obras e outros documentos que registrassem o histórico dos processos construtivos, adaptações e manutenções realizadas na estação. Nesse contexto, destacam-se os seguintes documentos: Projeto Estrutural das unidades de tratamento de água; Detalhamento do Projeto Estrutural da ETA e Especificações do concretos nos projetos estruturais, diário de obra e ensaios de qualidade para recebimento de materiais e componentes.

Seguindo o método apresentado por LICHTENSTEIN (1986), durante a fase de diagnóstico das manifestações patológicas, cada um dos danos à estrutura de concreto armado deverá ser interpretado para construir o entendimento das origens, as causas, a natureza, os mecanismos e os agentes das patologias, permitindo assim avaliar as reações das unidades construtivas aos agentes agressivos, identificando como se desenvolveu as patologias.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A seguir foram apresentados os resultados obtidos em cada um dos passos estabelecidos na metodologia do projeto de pesquisa.

4.1 Escolha e Caracterização do Objeto

O município de Senador Canedo foi selecionado para o desenvolvimento dessa pesquisa, pois o sistema de abastecimento de água dessa cidade possui duas Estações de Tratamento de Água construídas em períodos distintos, o que permitiu identificar a ocorrência de diferentes tipos de manifestações, contribuindo para a sistematização das patologias mais comuns neste tipo de construção.

Senador Canedo está inserido na região metropolitana de Goiânia, a qual é integrada por 20 municípios, sendo este o quarto mais populoso, superado apenas por Goiânia, Aparecida de Goiânia e Trindade (IBGE, 2010). Nota-se que desde as décadas de 2000 e 2010 a cidade vem passando por um processo contínuo de crescimento econômico e populacional, principalmente, em razão de sua proximidade com a capital do estado de Goiás, atraindo diversos empreendimentos industriais e imobiliários, que aumentam a demanda dos sistemas de abastecimento de água.

Os serviços de abastecimento de água e esgotamento sanitário na cidade de Senador Canedo são prestados diretamente pela Prefeitura Municipal, por meio da autarquia denominada Agência de Saneamento de Senador Canedo (Sanesc), criada em 1992, mediante a publicação da Lei Municipal nº 197, de 11 de março de 1992 (Senador Canedo, 1992).

As primeiras obras do sistema de abastecimento de água no município foram realizadas pela Petrobrás S.A para atender a demanda de seu parque industrial (Batorlomei, 2011), nessa ocasião foi construído o sistema de abastecimento de água denominado Bonsucesso, nome derivado do manancial superficial onde é realizada a captação de água. Tal sistema conta com uma ETA localizada no bairro da Indústria, GO 403, Qd. 21 Lt. 91, hoje conhecida com ETA Lucio Rosa. Inicialmente a ETA Lucio Rosa foi projetada para tratar uma vazão de 100 L/s, utilizando a técnica de filtro russo ou filtragem dupla (Batorlomei, 2011).

Posteriormente, houve ampliação da estação e alteração da técnica de tratamento de água, passando para o sistema convencional (coagulação, floculação,

decantação e filtração), os filtros existentes no local foram adaptados para funcionar como filtro rápido, no entanto não foram realizadas intervenções na estrutura de concreto armado dos filtros. Tal intervenção permitiu que a capacidade de tratamento da estação fosse incrementada em 100 L/s, passando então para 200 L/s (Batorlomei, 2011). No mesmo período foram realizadas ampliações da capacidade de reservação do sistema, com a instalação de novos reservatórios metálicos e a construção de nova captação de água no ribeirão Sozinha.

Por meio de imagens de satélites de diferentes datas, disponíveis no programa *Google Earth*, é possível acompanhar a evolução das estruturas construídas visando a expansão da capacidade de tratamento de água na ETA Lucio Rosa. A imagem mais antiga é datada de 09/10/2002, figura 12, nela pode-se observar a existência de uma edificação onde localiza-se os filtros russos, responsáveis pelo tratamento de água aquela época e a existência de reservatórios de água metálico e em concreto armado. A segunda imagem, datada de 21/03/2009 mostra que no período (2002 a 2009) não houve intervenções construtivas significativas na estação, figura 13, sendo que o tratamento ainda era realizado pelos filtros russos.

Figura 12 - Condições da ETA Lucio Rosa em 09/10/2002



Fonte: Google Earth, 2022, com adaptações.

Figura 13 - Condições da ETA Lucio Rosa em 21/03/2009



Fonte: Google Earth, 2022, com adaptações.

Na imagem datada de 15/05/2011, figura 14, constata-se a construção de novas estruturas em concreto armado, as quais tinham o objetivo de ampliar a capacidade de tratamento e alterá-lá para um sistema convencional (coagulação, floculação, decantação e filtração).

Figura 14 - Condições da ETA Lucio Rosa em 15/05/2011



Fonte: Google Earth, 2022, com adaptações.

Nota-se que as instalações existentes foram preservadas e adaptadas, especificamente as estruturas dos filtros, que passaram a funcionar como filtros rápidos, nesse período também foi ampliada a capacidade de reservação com a construção de novos reservatórios metálicos.

Por fim, a figura 15 apresenta imagem de satélite de 23/06/2021, onde verifica-se as condições atuais da ETA Lucio Rosa, cujo tratamento de água é realizado por processo convencional (coagulação, floculação, decantação e filtração), seguido pelo processo de desinfecção, consistente na adição de cloro gasoso.

Figura 15 - Condições da ETA Lucio Rosa em 23/06/2021



Fonte: Google Earth, 2022, com adaptações.

Existem na estação unidades complementares, como o tanque de contato (desinfecção), tanque de recuperação de água de lavagem de filtros e decantadores, estações elevatórias de água, reservatórios, além de escritórios administrativos e um pequeno auditório para recepção de visitantes. No entanto essas edificações não foram objetos de análise nesse trabalho de pesquisa, pois nem todas são de concreto armado e/ou não estão relacionadas diretamente ao processo de tratamento de água.

Em razão do crescimento contínuo da população de Senador Canedo, foi necessário ampliar o sistema de abastecimento de água, o que foi previamente

previsto no Plano Municipal de Senador Canedo (PMSB). A diretriz estabelecida no PMSB foi a construção de uma nova estação de tratamento, visto que a ETA Lucio Rosa operava acima da sua capacidade de projeto (Senador Canedo, 2012).

Dessa forma, no ano de 2013 iniciou-se a construção da ETA Sozinha, localizada fora da malha urbana do município, próximo a captação de água no ribeirão sozinho, coordenadas geográficas 16°43'58.99"S, 49°03'49.01"O). A figura 16 apresenta um dos momentos da construção da estação, em 21/07/2015. As obras de construção da estação foram concluídas apenas no ano de 2019, porém não entrou em operação imediatamente, somente no ano de 2021 a unidade iniciou em operação, com capacidade de tratamento de até 200 L/s, a figura 17, datada de 23/06/2021 apresenta as condições atuais da estação.

Figura 16 - Construção da ETA Sozinha em 21/07/2015, Senador Canedo.



Fonte: Google Earth, 2021.

Figura 17 - ETA Sozinha em 23/06/2021, Senador Canedo



Fonte: Google Earth, 2021.

A ETA Sozinha foi incluída como objeto de estudo pois se trata de uma obra de tratamento de água construída recentemente, logo esperava-se que as manifestações patológicas identificadas nessa estação fossem diferentes das observadas na ETA Lucio Rosa, e que elas estivessem relacionadas a falhas em projetos ou durante a execução das obras construtivas, uma vez que a estação iniciou sua operação somente em 2021, enquanto as manifestações patológicas observadas na ETA Lucio Rosa podem ser relacionadas ao processo de uso, visto que se trata de uma estrutura com mais de 15 anos em operação.

4.2 Estação de Tratamento de Água Lucio Rosa

Para identificar as patologias existentes na ETA Lúcio Rosa foram realizadas duas vistorias, a primeira em 22/05/2021, para inspeção visual das unidades de concreto armado e a identificação dos sintomas aparentes, e a segunda em 27/12/2021, quando além dos trabalhos de inspeção, realizou-se reunião com a equipe de engenharia da Sanesc, com a finalidade de levantar informações e documentos visando aprofundar o diagnóstico das manifestações patológicas existentes na estação.

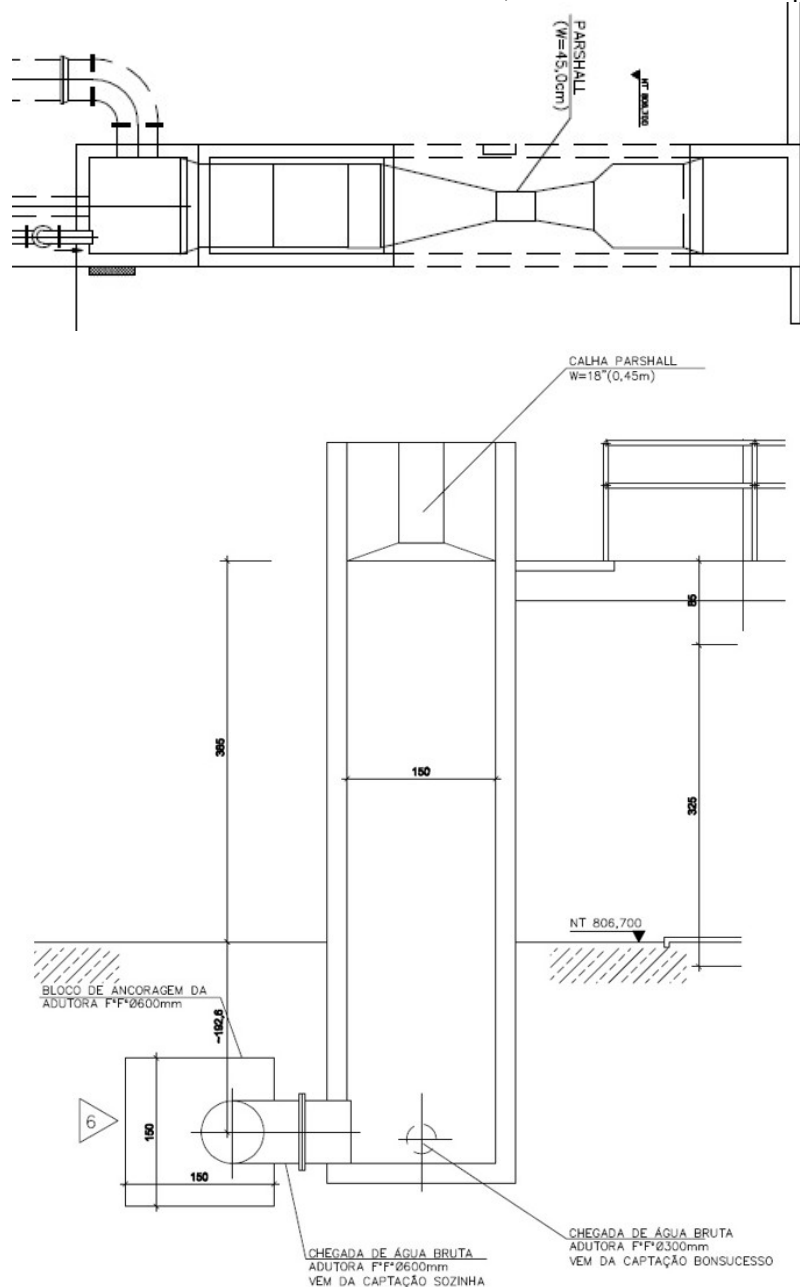
As vistorias foram realizadas durante operação normal da estação, portanto, a maioria das manifestações patológicas identificadas foram na parte externa das estruturas, visto que não foi possível inspecionar a parte interna das unidades de tratamento, que se encontravam completamente submersas. É provável que na parte interna existam patologias semelhantes ou até piores que a externa, pois estão constantemente em contato com a água. Ressalta-se que as manifestações patológicas estão relacionadas com a presença da água na parte interna das estruturas e não tem relação com a umidade do ar, do solo ou devido à ocorrência de chuvas nas partes externas.

As manifestações patológicas identificadas são apresentadas para as seguintes partes da estação: i) tratamento preliminar; ii) floculação e decantação; iii) filtros e iv) casa de cloração e v) unidades complementares. Tal divisão foi estabelecida para melhor identificar os locais em que cada uma ocorre, além de facilitar o entendimento dos tipos de patologias.

4.2.1 Tratamento preliminar

A água bruta a ser submetida ao tratamento é captada nos mananciais superficiais e transportada pelas adutoras até a ETA Lucio Rosa. A entrada de água na estação ocorre em um canal retangular de concreto armado. No canal existe uma calha Parshall, com um ressalto hidráulico para mistura completa entre o coagulante (sulfato de alumínio) e o volume de água a ser tratado. A figura 18 apresenta a planta baixa e um corte parcial do canal retangular.

Figura 18 – Planta e corte lateral da calha Parshall, unidade de tratamento preliminar.



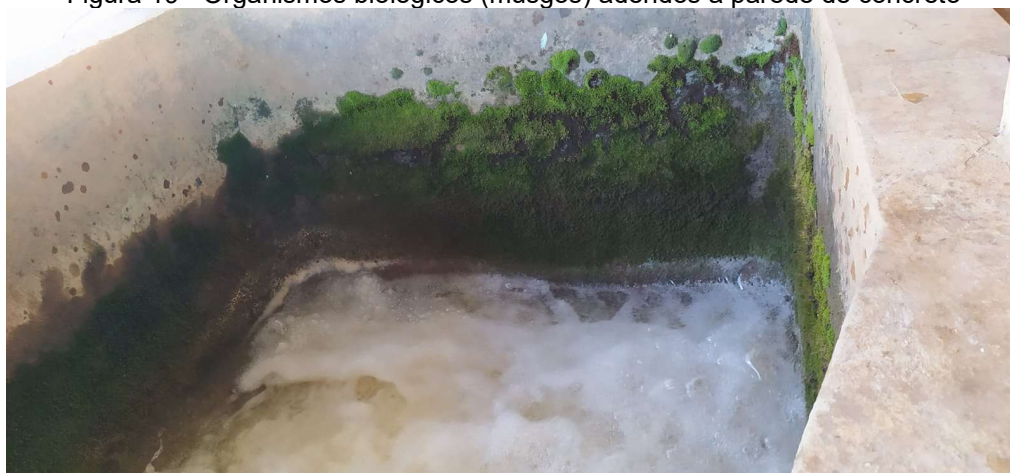
Fonte: Bartolomei, 2011.

Observa-se que o canal onde foi instalada a calha Parshall está a uma altura superior a 3 m do solo, portanto é sustentado por uma laje maciça de concreto armado. Embora não esteja representado na planta e no corte da calha Parshall, figura 18, abaixo da laje de sustentação do canal existem banheiros e sala para estoque de material.

4.2.1.1 Levantamento de Subsídio

Durante a inspeção nessa unidade foi observada o desprendimento de elevada quantidade de umidade no trecho onde existe o ressalto hidráulico, em razão do turbilhonamento de água, necessário para a mistura completa do coagulante com a massa d'água. Nesse local criou-se ambiente propício para o desenvolvimento de organismos biológicos (musgos) aderidos a parede de concreto armado, conforme mostrado na figura 19.

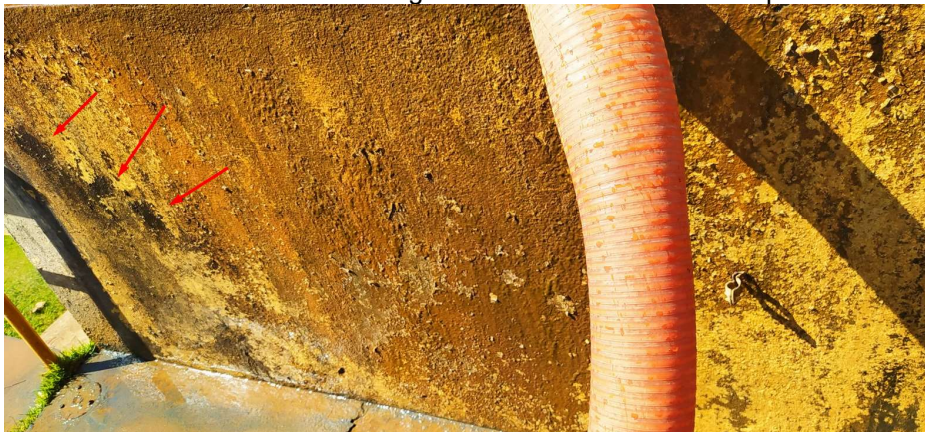
Figura 19 - Organismos biológicos (musgos) aderidos a parede de concreto



Fonte: Autor, 2021.

Nas paredes externas do canal foi observado o descolamento e empolamento da pintura, bem como a presença de musgos e bastante sujeira na parede externa do canal, figura 20. Na parte inferior da laje de sustentação do canal se observou o desenvolvimento de vegetação e musgos aderidos a laje, com elevada quantidade de umidade, no local ainda se verificou o deslocamento e empolamento da pintura e a presença de manchas e sujeira, figura 21A. Tais manifestações patológicas ocorrem em uma parede existente abaixo da laje do canal retangular, figura 21B.

Figura 20 - Parede externa do canal retangular com descolamento e empolamento da pintura.



Fonte: Autor, 2021.

Figura 21 - Vista inferior da laje de sustentação do canal retangular. A) Descolamento e presença de musgo na parte inferior da laje. B) Elevada quantidade de sujeira em parede abaixo da laje.



Fonte: Autor, 2021.

Na borda da laje de sustentação do canal, por onde há circulação de pessoas, foi constatado o deslocamento de concreto, figura 22, com exposição de armadura.

Figura 22 - Deslocamento de concreto na borda da laje



Fonte: Autor, 2021.

Nas paredes do canal, próximo ao recipiente de armazenamento de coagulante, figura 23, verificou-se o deslocamento e empolamento da pintura. Por fim, constatou a desagregação do concreto, a exposição e corrosão da armadura, conforme ilustrado pela figura 24.

Figura 23 - Parede externa do canal. A) trecho do canal onde foi instalado tanque de coagulante. B) Parede do canal em que se observa empolamento da pintura. C) Parede do canal com deslocamento de concreto. D) Parede lateral do canal com deslocamento de concreto.



Fonte: Autor, 2021.

Figura 24 - Parede externa do canal retangular. A) Trecho da parede com descolamento da pintura, deslocamento do concreto e exposição da armadura. B) Trecho onde da parede do canal com armadura exposta.



Fonte: Autor, 2021.

4.2.1.2 Diagnóstico da situação

As manifestações patológicas observadas na unidade de tratamento preliminar estão relacionadas a presença constante de água, bem como a dispersão de vapores de água (umidade), que nesse caso favorece o desenvolvimento de organismos aderidos aos poros do concreto, em razão da ausência ou desgaste da impermeabilização das estruturas.

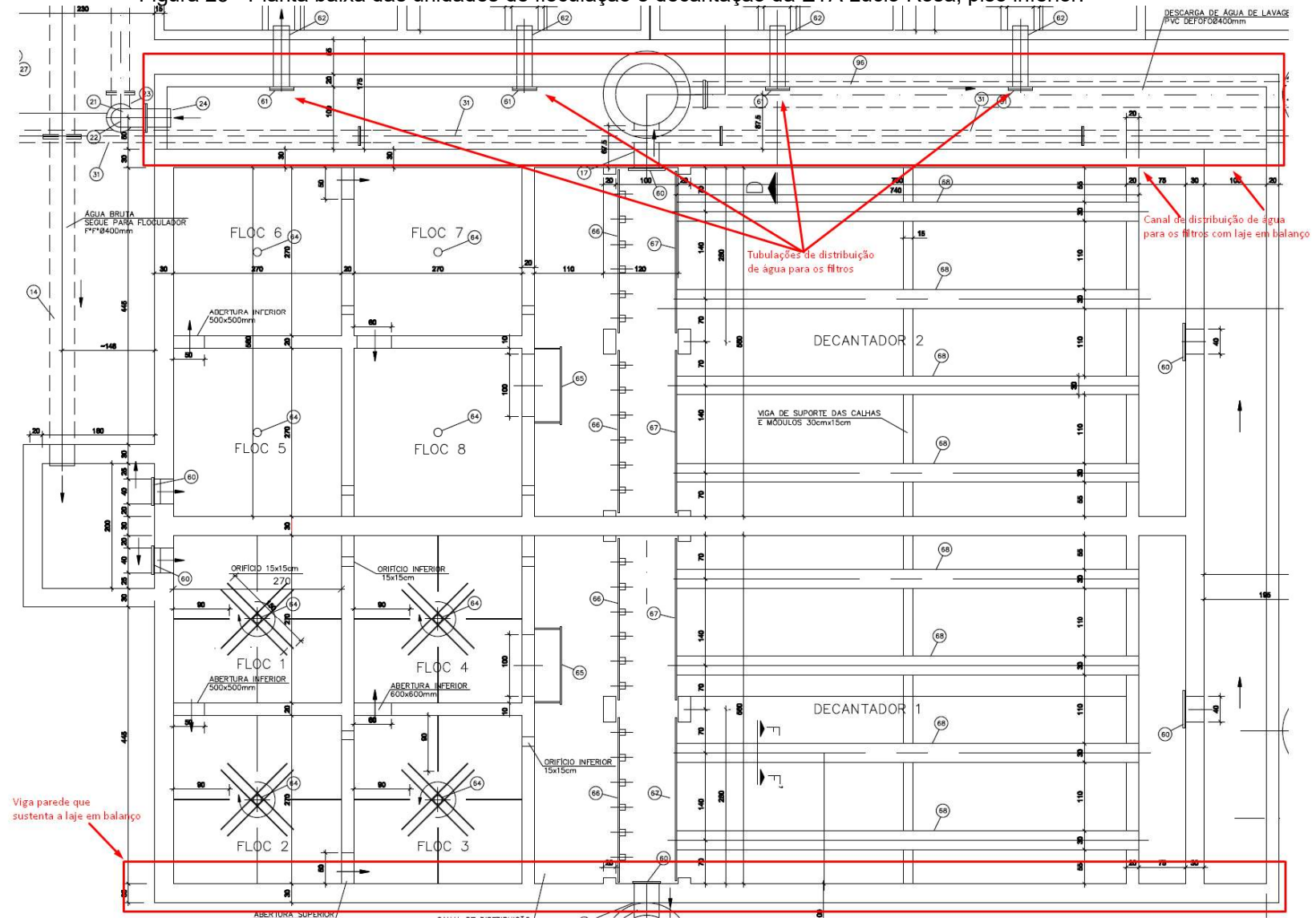
Destaca-se que foi constatado o desenvolvimento de vegetais aderidos as paredes de concreto, o que também é indício da ausência de medidas de limpeza e proteção das estruturas. Cabe destacar que os agentes biológicos, nesse caso vegetais, devem ser caracterizados como agentes agressivos, pois podem provocar a deterioração do concreto devido à ação do metabolismo de organismos vivos, tal processo é denominado de biodeterioração.

A degradação do concreto nas paredes laterais do canal pode ser relacionada ao escoamento de sulfato de alumínio, sabe-se que o sulfato é agente agressivo ao concreto (Aguiar, 2012), que pode provocar o deslocamento e a corrosão das armaduras, como mostrado na figura 24.

4.2.2 Tanque de floculação e decantação

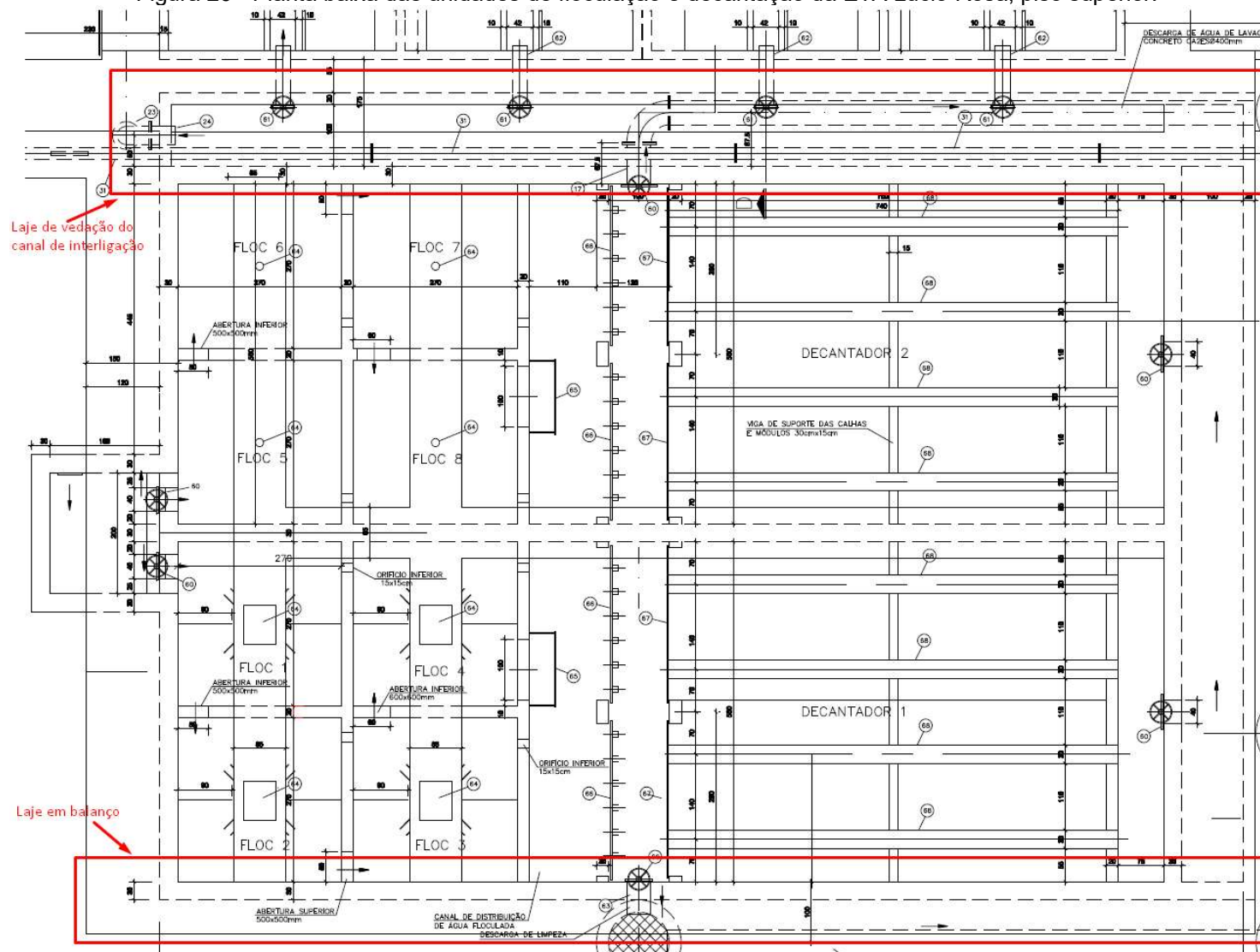
As estruturas que abrigam as unidades de floculação e decantação podem ser classificadas como reservatórios de concreto armado com subdivisões internas, câmaras, onde desenvolvem tais processos de tratamento. O sistema estrutural é composto por lajes, vigas, vigas paredes e pilares. As figuras 25 a 27 apresentam as plantas e corte transversal das unidades de floculação e decantação existentes na ETA Lucio Rosa. Nas referidas figuras foram destacados os locais onde ocorrem as manifestações patológicas mais significativas, a saber: i) no canal de distribuição de água dos decantadores para os filtros, lado esquerdo; ii) em uma laje em balanço, localizada no lado direito; e iii) nas vigas paredes.

Figura 25 - Planta baixa das unidades de floculação e decantação da ETA Lucio Rosa, piso inferior.



Fonte: Bartolomei, 2009, com adaptações.

Figura 26 - Planta baixa das unidades de floculação e decantação da ETA Lucio Rosa, piso superior.



Fonte: Bartolomei, 2009, com adaptações.

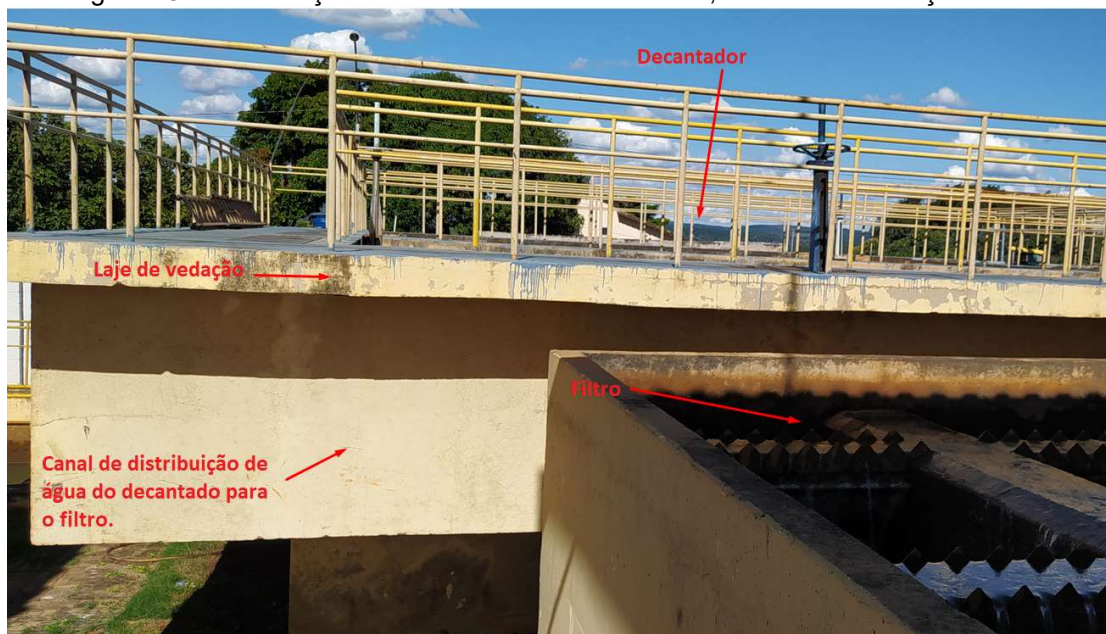
A figura 25 corresponde a planta baixa do primeiro pavimento da estação, onde são detalhados os floculadores e os decantadores; toda essa parte da estação foi construída entre os anos de 2009 e 2011, em concreto armado. Na referida figura é destacado o canal de distribuição de água dos decantadores até os filtros, trata-se de um canal retangular, cujo fundo corresponde a uma laje em balanço com um metro de largura e comprimento de 17,85 metros, na lateral do canal tem-se uma viga parede e na cobertura uma laje maciça, existindo algumas aberturas nos locais onde foram instaladas válvulas hidráulicas (comportas) para controle de vazão das tubulações que distribuem água proveniente dos decantadores para os filtros, tal laje pode ser observada na figura 26, a qual corresponde a planta baixa do pavimento superior.

Ainda na figura 25, no lado oposto ao canal mencionado, lateral direita, foi destacada uma viga parede que sustenta um pequeno trecho de uma laje em balanço utilizada para circulação de pessoas.

Na figura 26 é possível observar em destaque a laje em balanço na lateral esquerda. Todas as lajes observadas na planta superior são utilizadas para circulação de pessoas. Para melhor compreensão das posições e finalidades das estruturas apresentadas nas figuras 25 e 26 tem-se o corte transversal das unidades de floculação e decantação, figura 27, onde foram destacados o canal de condução de água do decantador até os filtros, a laje em balanço que corresponde ao fundo do canal, bem como a laje em balanço na lateral oposta, a qual é utilizada apenas para circulação de pessoas.

A visualização das estruturas identificadas nas figuras 25 a 27, em especial o canal de distribuição de água do decantador para os filtros, podem ser observadas nas figuras 28 a 31, as quais apresentam a estrutura física existente na ETA Lucio Rosa, destacando a a parte externa dessas unidades. Na figura 28 é possível observar a posição do decantador, do canal, da laje de vedação e do filtro. Na figura 29 observa-se a lateral entre o canal de distribuição e o filtro, podendo visualizar o fundo do canal, que corresponde a uma laje em balanço, as vigas paredes de sustentação dessa estrutura, bem como as tubulações de interligação. A figura 30 apresenta uma vista em que se pode visualizar a extensão do canal, onde é possível ainda observar as vigas parede do decantador e dos filtros. A figura 31 apresenta a condição em que se encontra a laje em balanço na lateral oposta ao canal, a qual tem extensão de 17,8 metros e largura de um metro, na referida figura também é possível observar parcialmente a viga parede do decantador que sustenta a referida laje.

Figura 28 - Visualização das estruturas do decantador, canal de distribuição e filtro.



Fonte: Autor, 2021.

Figura 29 - Vista lateral do canal de distribuição de água do decantador para o filtro.



Fonte: Autor, 2021.

Figura 30 - Vista lateral do canal de distribuição de água do decantador para o filtro.



Fonte: Autor, 2021.

Figura 31 – Vista lateral do decantador. A) Detalhe da viga parede e trecho de laje em balanço. B) Detalhe de trecho de laje em balanço sustentado pela viga parede do decantador.



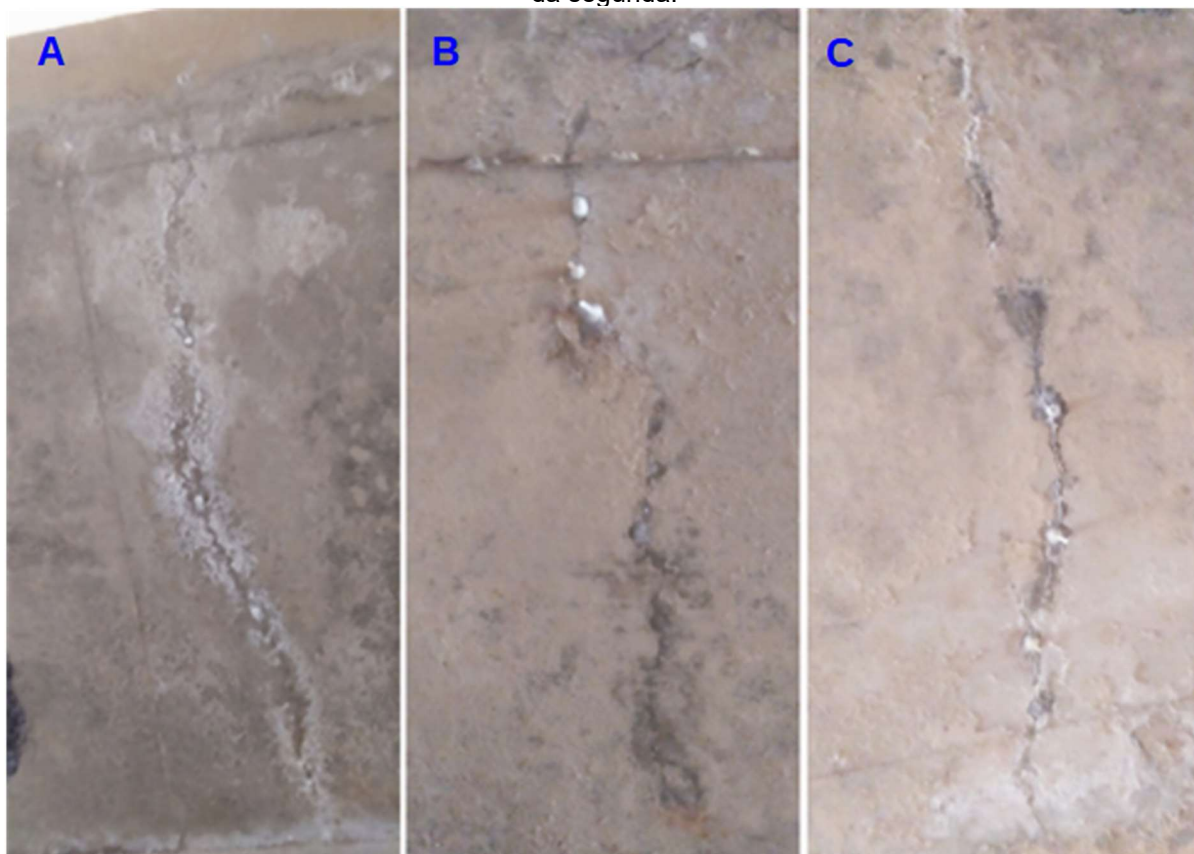
Fonte: Autor, 2021.

Em sequência são apresentadas as principais patologias identificadas nas referidas estruturas, bem como o diagnóstico da situação, com o apontamento das principais hipótese para o surgimento e desenvolvimento das patológicas.

4.2.2.1 Levantamento de Subsídio

Durante inspeção ao longo do canal, figura 30, foram observadas a ocorrência de fissuras na laje em balanço, o que foi demonstrado na figura 32. Como trata-se do fundo do canal, a parte superior da laje está permanentemente coberta por água, o que desencadeou o processo de lixiviação do concreto e a ocorrência de eflorescência – estalactites e estalagmites – em pontos diversos do canal, figura 33. Tais processos também ocorre nas bordas do canal figura 34, onde há uma viga parede que também fica parcialmente submersa por água, além de tem contato constante com o escoamento de água que sai dos decantadores e vai para os filtros.

Figura 32 – Vista da laje em balanço de baixo para cima, onde é possível constatar a ocorrência de fissuras no canal de distribuição de água. A) Detalhe da primeira fissura com ocorrência de eflorescência. B) Detalhe de fissura a cerca de 4 metros da primeira. C) Detalhe de fissura a 3 metros da segunda.



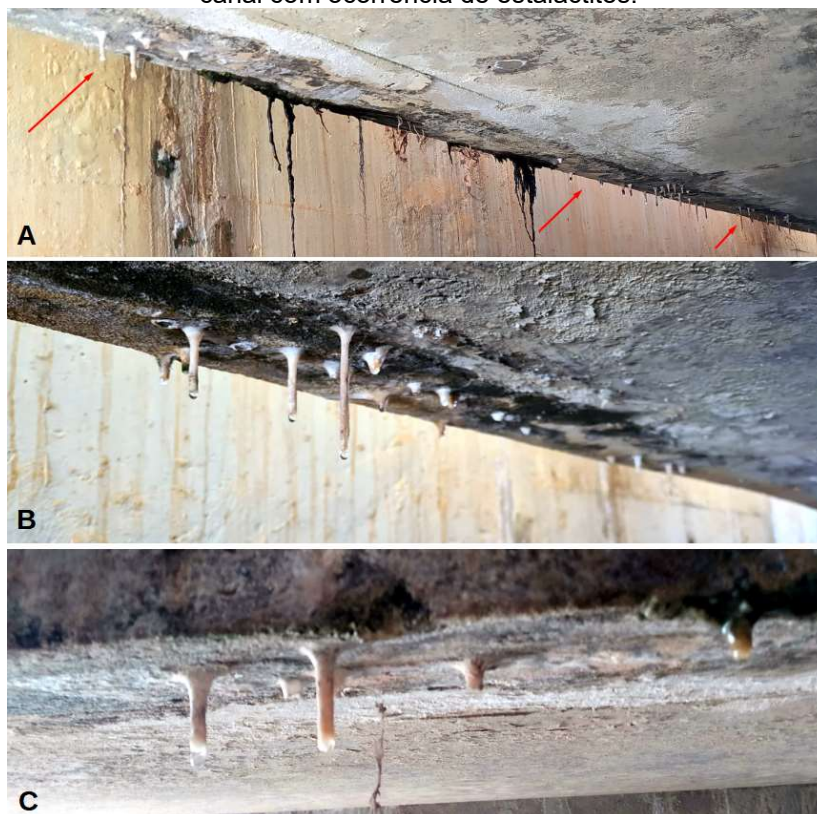
Fonte: Autor, 2021.

Figura 33 - Ocorrência de eflorescência no fundo do canal. A) Observa-se a ocorrência de estalactites e estalagmites abaixo de uma das fissuras. B) Destaque para estalactites e estalagmites no canal. C) Destaque para diversas estalactites nas bordas do canal de distribuição de água.



Fonte: Autor, 2021.

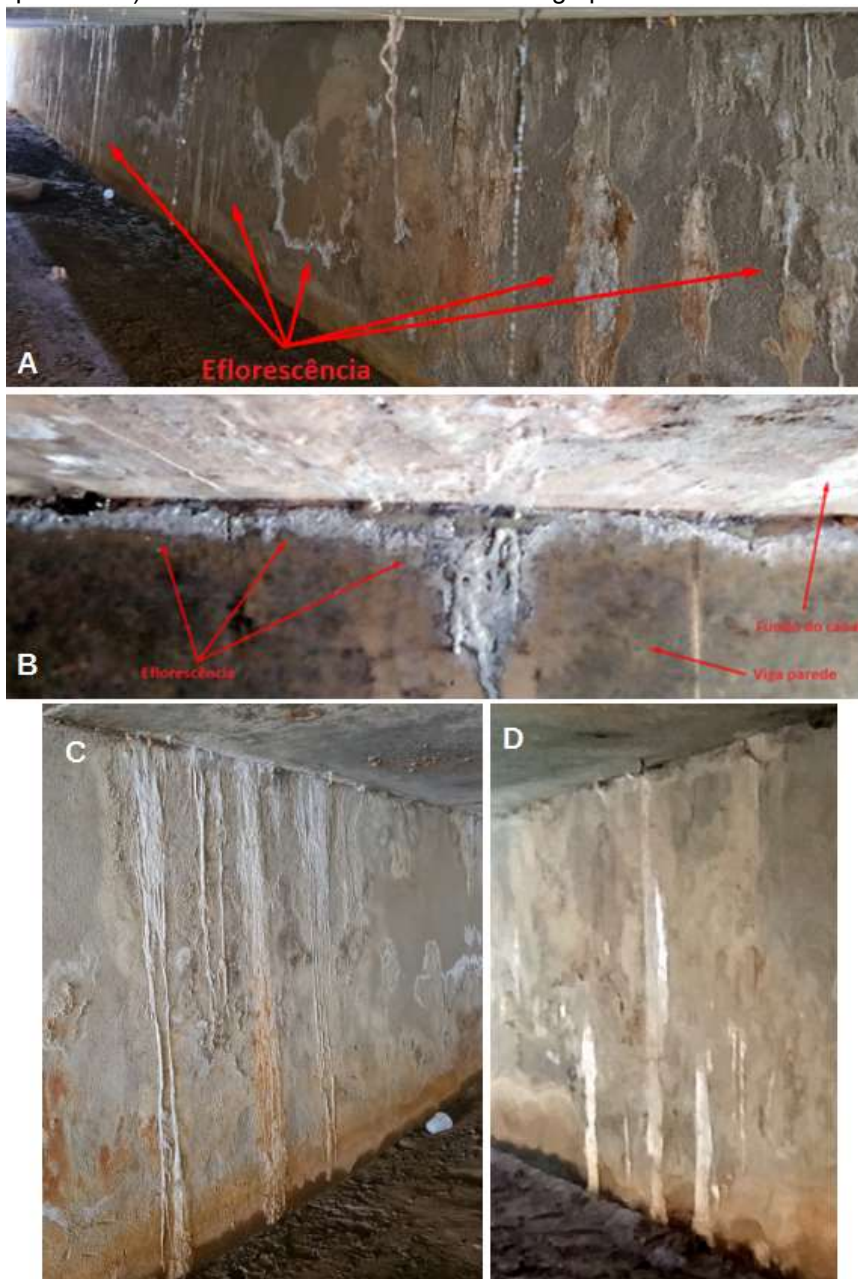
Figura 34 - Ocorrência de eflorescência na borda do canal. A) Trecho do canal com elevada quantidade de estalactites. B) Detalhe de estalactites com presença de água. C) Trecho da borda do canal com ocorrência de estalactites.



Fonte: Autor, 2021.

Na viga parede do reservatório, a qual sustenta o canal de distribuição de água, também tem processo avançado de eflorescência, conforme mostrado na figura 35.

Figura 35 - Ocorrência de eflorescência na viga parede do decantador e floculador. A) Ocorrência de eflorescência em pontos diversos da viga parede. B) Detalhe de eflorescência entre o fundo do canal e viga parede. C) Destaque para quantidade de eflorescência em trecho entre o fundo do canal e viga parede. D) Ocorrência de eflorescência em viga parede do decantador.



Fonte: Autor, 2021.

Do mesmo modo, são observadas as mesmas manifestações patológicas na viga parede oposta ao canal, lateral esquerda. Entretanto, nessa parede tais patologias são menos intensas, conforme pode-se verificar na figura 36.

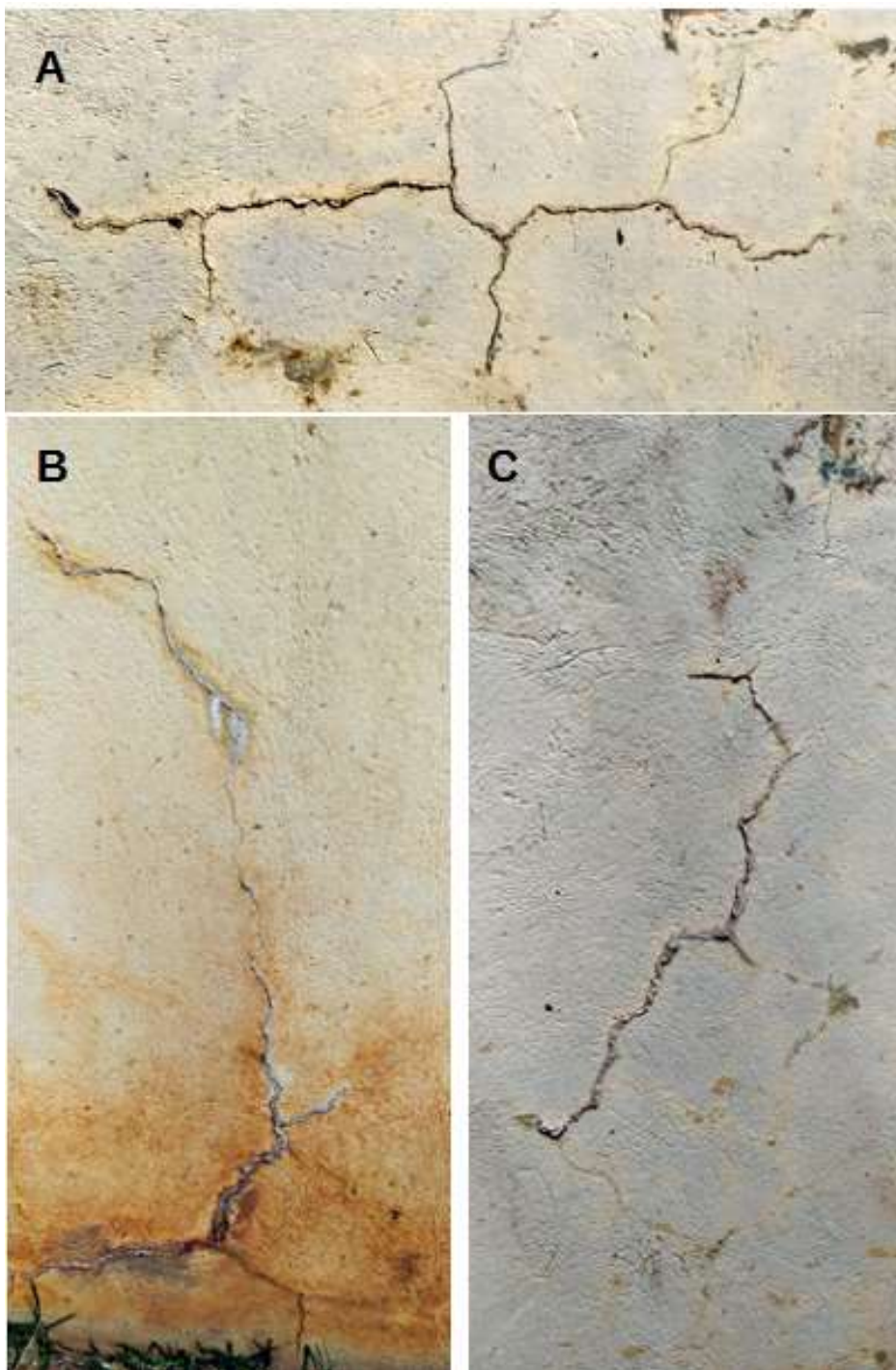
Figura 36 - Ocorrência de eflorescência na viga parede da lateral direita do decantador. A) Destaque para ponto com ocorrência de deslocamento e eflorescência. B) Trecho da viga parede com eflorescência em pontos diversos. C) Detalhe ponto concentrado de eflorescência na viga parede. D) Detalhe de outro ponto de eflorescência na viga parede,



Fonte: Autor, 2021.

Ainda, nessa viga parede constatou-se a ocorrência de fissuras, nas quais pode-se observar o processo de eflorescência, figura 37.

Figura 37 - Ocorrência de fissuras e eflorescência na viga parede direita. A) Destaque para fissura lateral com ocorrência de eflorescência. B e C) Destaque para fissura vertical com ocorrência de eflorescência.



Fonte: Autor, 2021.

Por sua vez, a laje em balanço, sustentada pela viga parede, apresenta ocorrência de fissuras, onde há o processo de lixiviação e eflorescência, figura 38. Ainda, observa-se nas bordas da laje grande quantidade de sujeira devido e desagregação do concreto, provocado pelo escoamento de água, pois a borda da laje não dispõe de pingadeiras para evitar esse processo.

Figura 38 - Laje em balanço, sustentado pela viga parede lateral direita, com fissuras e eflorescência.



Fonte: Autor, 2021.

4.2.2.2 Diagnóstico da situação

As manifestações patológicas observadas nas estruturas de concreto armado dos floculadores e decantadores foram fissuras, lixiviação e a eflorescência, inclusive com a formação de estalactites e estalagmites, processos que levam longos anos para serem observados.

A ocorrência das fissuras podem ter sido por causas diversas, tais como movimentação térmica, movimentação higroscópica, atuação de sobrecarga, recalques de fundação e alteração química dos materiais, ou baixa resistência do concreto; enquanto a lixiviação nas unidades avaliadas podem ter sido provocadas pelo contato direto das fissuras ou microfissuras com a água pura, ou seja, aquela que não apresenta impurezas ou íons metálicos dissolvidos, visto que a água bruta foi submetida ao processo de coagulação e floculação, o que resultou na agregação das impurezas em flocos, que grande parte se sedimentaram no decantador, portanto considerou-se que se trata de água pura.

Para Souza e Ripper (1998) as águas consideradas puras são aquelas que não contêm sais dissolvidos, consequentemente, tendem a agredir o concreto, desencadeando o processo de lixiviação. Além disso, a agressividade das águas puras pode ser intensificada pela velocidade de escoamento e a quantidade de água que atua sobre o concreto e o seu tempo de permanência (SOUZA e RIPPER, 1998). Destaca-se que na parede do canal de interligação entre o decantador e o filtro, foi o local em que as manifestações patológicas foram mais significativas, haja visto que nesse local a água está em constante escoamento.

Por sua vez, a lixiviação consiste na corrosão química do concreto, por meio da dissolução e arraste do hidróxido de cálcio existente na massa de cimento para as partes externas da laje, onde houve a deposição do hidróxido de cálcio e deu origem a superfícies brancas ou a formação de estalactites e estalagmites após a evaporação da água, processos denominados de eflorescência, os quais foram encontrados em diversos locais das vigas paredes dos decantadores (figuras 32 a 38).

Ressalta-se que o ataque de águas puras ou com poucas impurezas, conforme apontado por Souza e Ripper (1998), tornam o concreto mais poroso intensificando a corrosão e lixiviação. Dessa maneira, torna-se de grande importância a impermeabilização de todas as superfícies, principalmente aquelas onde a água está em constante escoamento.

4.2.3 Filtros

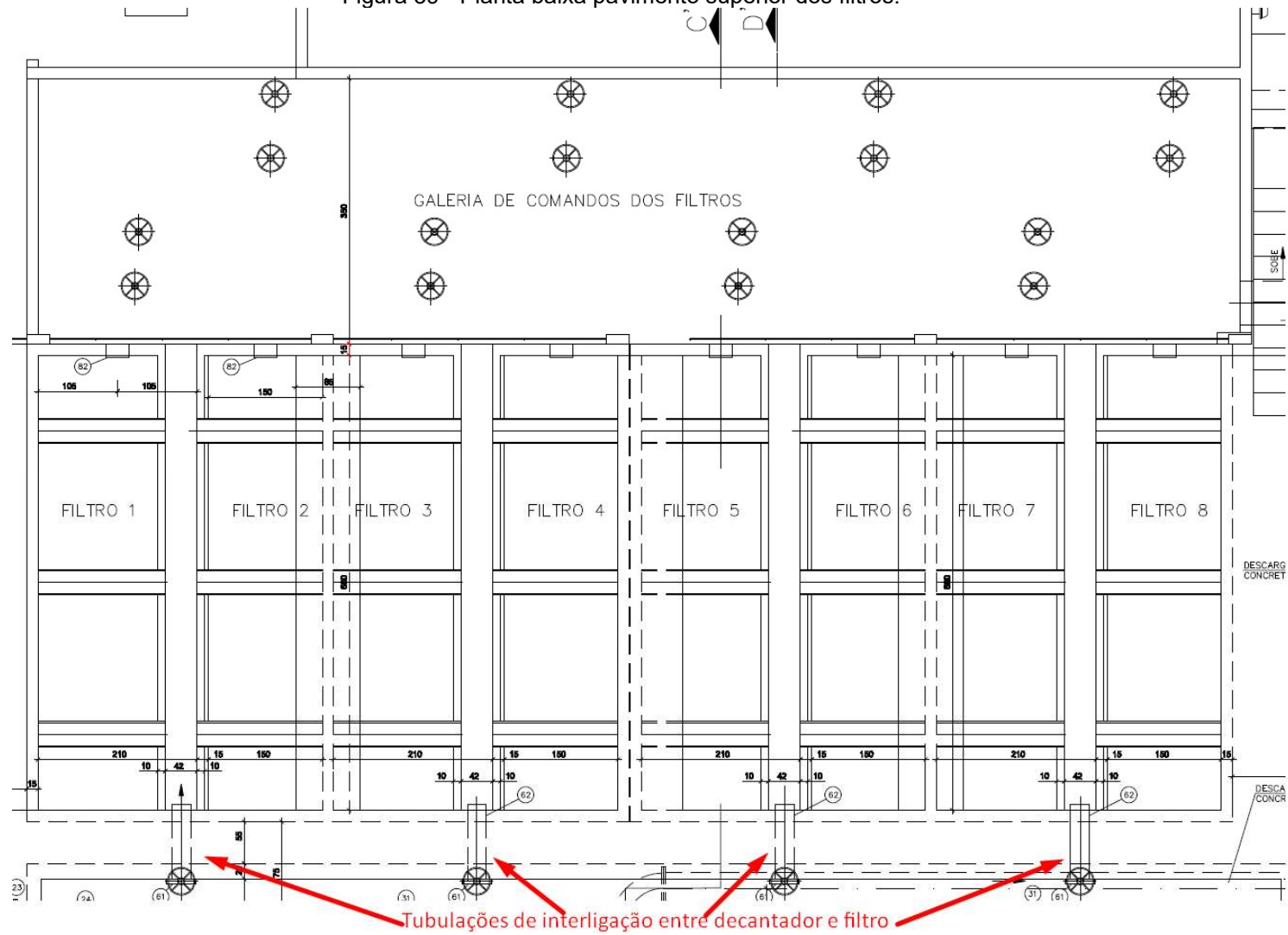
O primeiro processo de tratamento de água em Senador Canedo consistia apenas na dupla filtração, também conhecido como filtro russo, posteriormente houve alteração para o processo convencional e as estruturas em concreto armado dos filtros foram adaptadas para realizarem o processo de filtração rápida. Destaca-se que durante essas intervenções não foram realizadas alterações no sistema estrutural dos filtros existentes, portanto a estrutura de concreto armado é a mesma que foi construída na década de 1980.

Os filtros podem ser caracterizados como reservatórios, com divisões internas, câmaras, sendo composto pelas seguintes estruturas: viga, laje de fundo e viga parede. Tais estruturas estão submetidas a cargas diferentes das demais unidades de tratamento, pois além do volume de água, nessas estruturas são armazenados os materiais filtrantes: pedregulhos, areia fina e grossa e carvão ativado.

As figuras 39 e 40 apresentam as plantas baixas dos pavimentos superiores e inferiores, respectivamente. Na figura 39 é possível observar as tubulações de interligação dos decantadores com os filtros, bem como as unidades do sistema estrutural dos filtros, basicamente viga parede e laje. A figura 40 apresenta a planta baixa do pavimento inferior, onde nota-se grande quantidade de tubulações responsáveis pela coleta e condução da água filtrada, e, as tubulações utilizadas para lavagem do leito filtrante; nessa figura foram destacadas as vigas paredes, denominadas 1 e 2, pois são nelas que ocorrem as manifestações patológicas mais significativas.

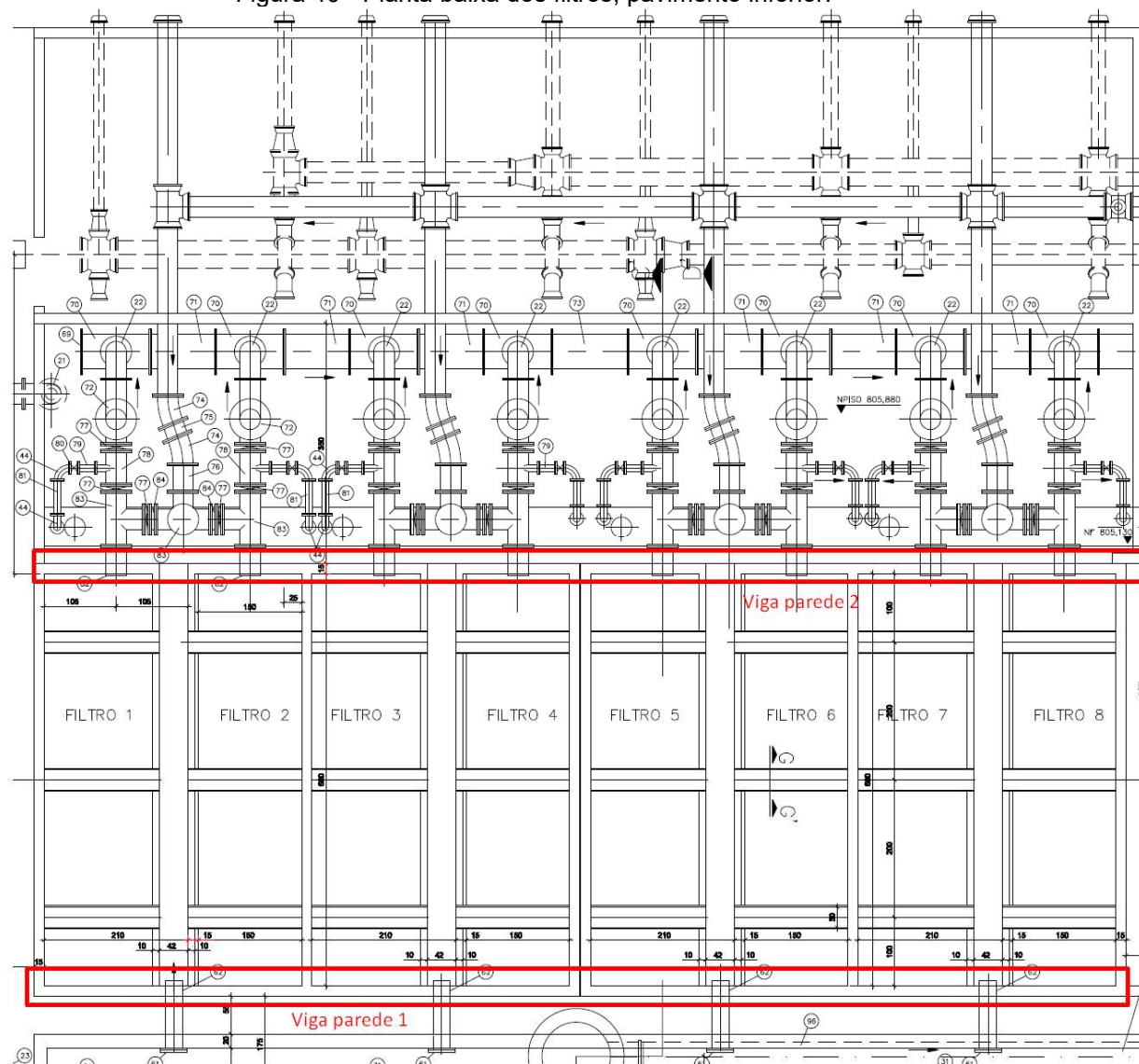
Para melhor compreensão dos detalhes do sistema estrutural e funcionamento dos filtros a figura 41 apresenta um corte transversal em que é possível observar o canal de distribuição de água do decantador, bem como a tubulação de interligação e o destaque para as vigas paredes laterais, as quais estão em posição diferente das vigas paredes destacadas na figura 40, em razão da direção do corte.

Figura 39 - Planta baixa pavimento superior dos filtros.



Fonte: Bartolomei, 2009, com adaptações.

Figura 40 - Planta baixa dos filtros, pavimento inferior.



Fonte: Bartolomei, 2009, com adaptações.

4.2.3.1 Levantamento de Subsídio

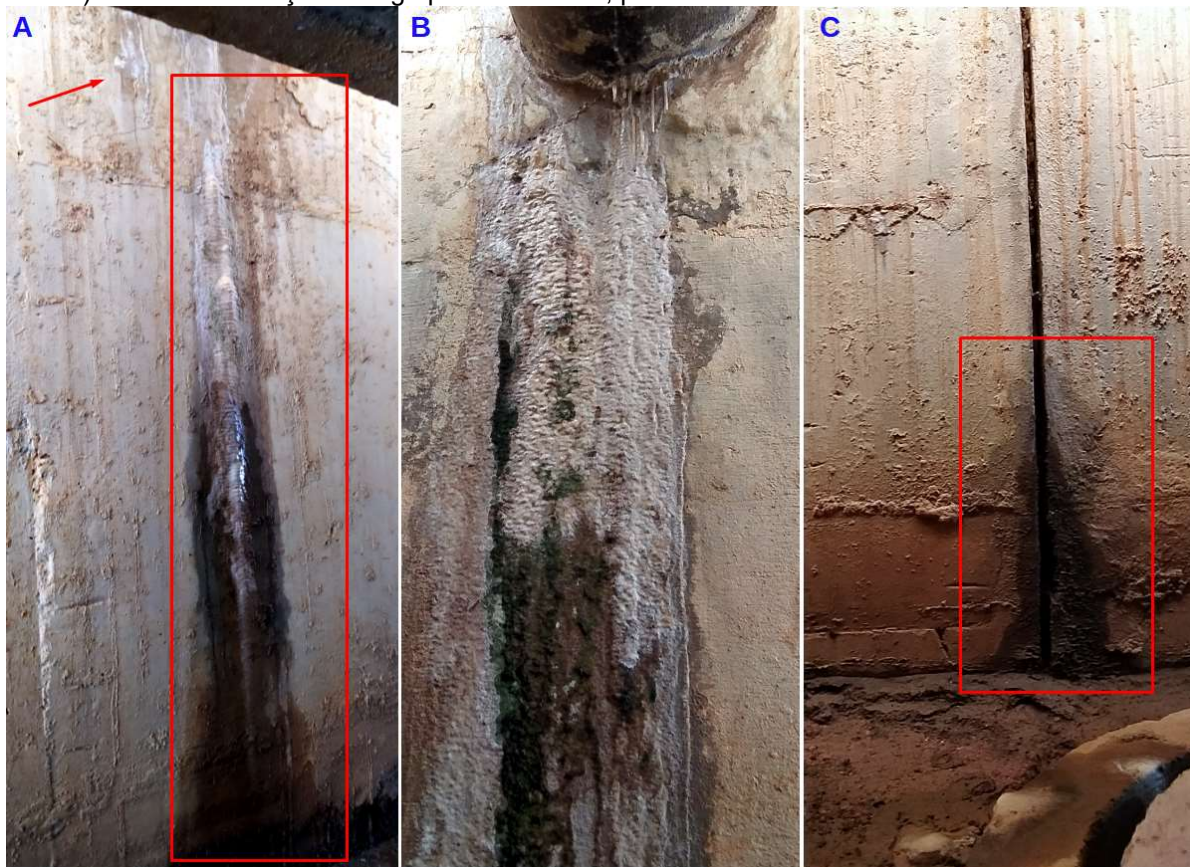
As principais manifestações patológicas nos filtros foram constatadas nas vigas paredes, que para melhor compreensão são apresentadas considerando sua localização. Vigas paredes laterais: deslocamento de concreto, exposição e corrosão de armaduras – figura 42; Viga parede 1: fissuras e lixiviação – figura 43, principalmente entre as tubulações de ferro fundido e o concreto – figura 44; Viga parede 2: fissuras, trincas e lixiviação. Ainda, em uma viga, na galeria de comando dos filtros, foi observado o deslocamento de concreto e exposição e corrosão da armadura.

Figura 42 - Deslocamento de concreto e exposição de armadura em viga parede lateral.



Fonte: Autor, 2021.

Figura 43 - Manifestações patológicas na viga parede 1 do filtro. A) Ocorrência de eflorescência e escoamento de água. B) Eflorescência em viga parede com conexão de tubulação de ferro fundido. D) Ponto de infiltração na viga parede do filtro, porém ainda não há sinais de eflorescência.



Fonte: Autor, 2021.

Figura 44 - Manifestações patológicas entre as vigas paredes e as tubulações. A) Fissura no concreto em ponto de conexão com tubulação de ferro fundido. B e C) Ocorrência de eflorescência em trecho de conexão entre viga parede e tubulação. D) Eflorescência em áreas adjacente a tubulação de ferro.



Fonte: Autor, 2021.

Figura 45 - Manifestações patológicas na viga parede 2 dos filtros. A) Ocorrência de eflorescência em viga parede. B) Ocorrência de fissura e trinca, com vazamento de água na viga parede. C) Ocorrência de fissuras e eflorescência em viga parede. D) Eflorescência em viga parede.



Fonte: Autor, 2021.

Figura 46 - Deslocamento do concreto, exposição e corrosão da armadura em viga.



Fonte: Autor, 2021.

4.2.3.2 Diagnóstico da situação

Da mesma maneira que foi observado nos sistemas estruturais dos floculadores e decantadores, as principais manifestações patológicas observadas nos filtros foram a lixiviação e a eflorescência, todavia com maior intensidade, pois as estruturas de concreto armado dessas unidades são bem mais antigas que os floculadores e decantadores. Os processos químicos responsáveis pela lixiviação e eflorescência nos filtros são os mesmos dos citados anteriormente, pois pressupõe-se que seja decorrente do mesmo agente agressor: água pura.

Cabe destacar que nos filtros o processo de fissuração já é muito mais intenso, inclusive com aberturas que provocam sérios vazamentos de água tratada, demonstrado na figura 45, o que onera todo o sistema de produção de água.

Nos filtros foi identificado grave manifestação patológica correspondente a desagregação de concreto e exposição e corrosão das armaduras, conforme ilustrado na figura 46. A desagregação demonstrada na figura 46 decorre-se da separação de placas de concreto, com perda de monolitismo. A desagregação ou deslocamento do concreto pode ter sido provocada pela oxidação da armadura, a qual ao formar o óxido de ferro hidratado pode expandir e aumentar a sua seção, provocando pressão sobre o concreto, a qual é suficiente para fraturar o concreto. Segundo Souza e Ripper (1998) a expansão volumétrica das barras de aço, quando sob corrosão, pode significar aumento de dez vezes o seu volume original.

4.3 Estação de Tratamento de Água Sozinha

A ETA Sozinha foi construída visando ampliar a capacidade de produção de água potável na cidade de Senador Canedo e atender a demandas crescentes, em razão da expansão urbana do município.

O levantamento de subsídios das manifestações patológicas foi realizado por meio de inspeções visuais que ocorreram em: i) 22/05/2021, nessa ocasião a estação ainda não estava em operação, porém as unidades de tratamento se encontravam submersas, e ii) 27/12/2021, quando a estação já estava em operação. Durante o intervalo entre as duas visitas à estação, houve pintura das paredes externas.

Ainda, em 27/12/2021 foi realizada reunião com a equipe de engenharia da Sanesc visando o levantamento de informações e documentos para aprofundar o

diagnóstico das patologias. Na ocasião foram encontrados os projetos hidráulicos e estruturais, não foram encontrados diário de obras, relatórios de fiscalização ou outros documentos que pudessem subsidiar as análises referentes ao processo construtivo. Dessa forma, foram utilizadas imagens de acervo fotográfico desenvolvido pelo próprio autor durante visitas técnicas realizadas nas etapas de construção da estação, nos anos de 2015, 2017 e 2018. Tais visitas foram realizadas apenas com caráter didático, sem objetivo de acompanhar ou fiscalizar a construção da estação.

Na ETA Sozinha as unidades de tratamento de água convencional (coagulação, floculação, decantação e filtração) estão todas reunidas em uma estrutura que pode ser classificada como um reservatório de concreto armado, com subdivisões internas, câmaras, onde ocorre cada um dos processos de tratamento.

O sistema estrutural da estação é composto por lajes maciças, vigas, vigas paredes e pilares. A figura 47 apresenta uma vista geral de um dos lados da estação, na qual se observa-se uma laje maciça, ainda pode-se observar parcialmente os pilares de sustentação da laje, os quais foram identificados na figura de forma semelhante ao que consta no projeto estrutural (P1, P2, P3, P4 e P5).

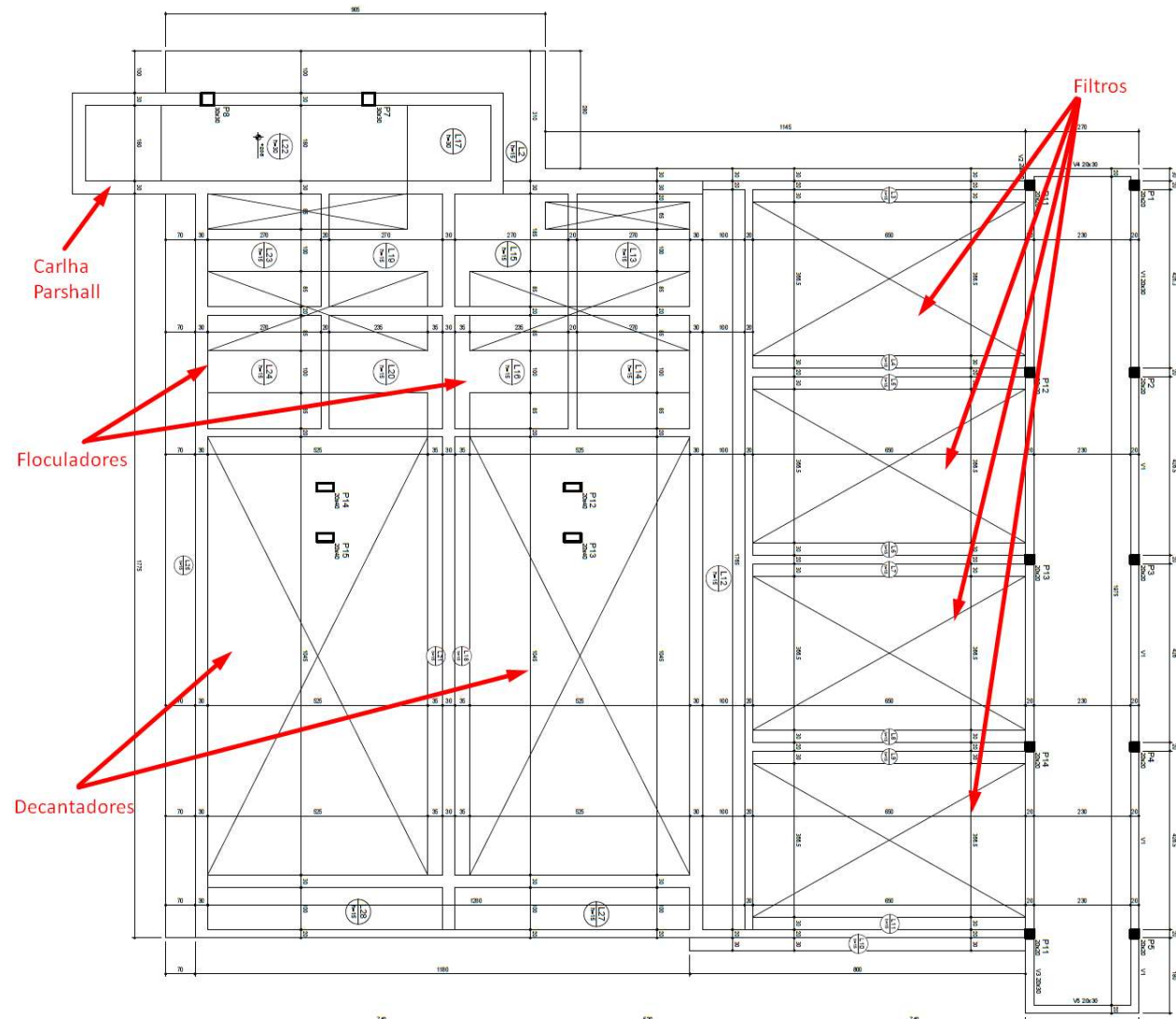
Figura 47 - Vista lateral da ETA Sozinha em que se observar laje maciça e pilares de sustentação.



Fonte: Autor, 2021.

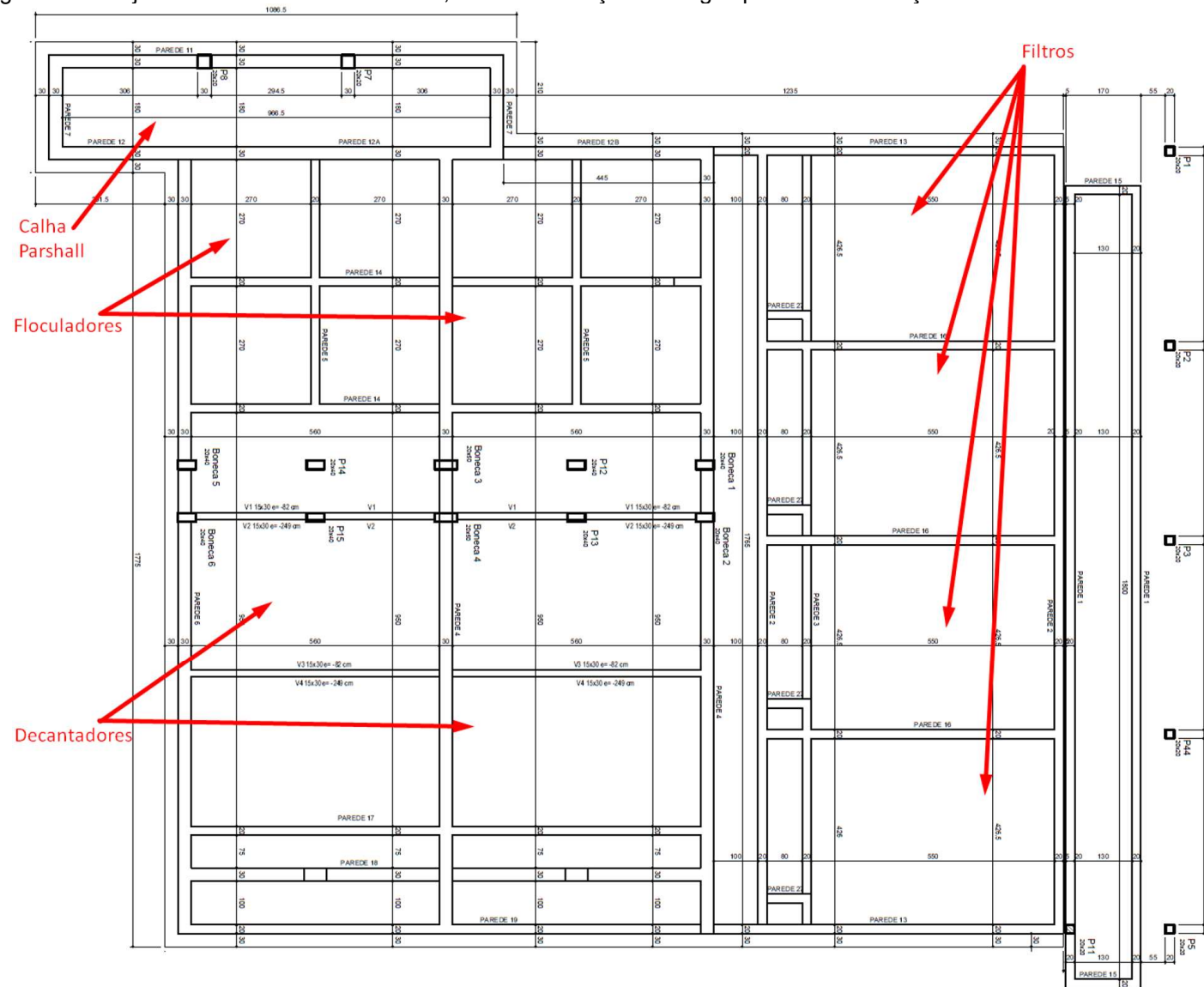
O detalhamento do sistema estrutural é apresentado nas figuras 48 e 49. Na figura 48 é demonstrado planta com a indicação das lajes e pilares, bem como a identificação de cada uma das unidades de tratamento, já na figura 49 é apresentada a planta do sistema estrutural com a identificação das vigas paredes e indicação das unidades de tratamento.

Figura 48 - Projeto estrutural da ETA Sozinha, com identificação das lajes e indicação das unidades de tratamento.



Fonte: Bartolomei, 2013.

Figura 49 - Projeto estrutural da ETA Sozinha, com identificação das vigas paredes e indicação das unidades de tratamento.



Fonte: Bartolomei, 2013.

4.3.1 Levantamento de subsídios

As manifestações patológicas foram identificadas principalmente nas paredes externas as unidades de tratamento, visto que durante as vistorias as unidades internas estavam submersas. Os principais locais em que se constatou a ocorrência de manifestações patológicas foram as vigas paredes 6, 7, 11, 12, 13 e 19, todas elas apresentaram problemas relacionados a infiltração.

As vigas paredes 7 e 12 correspondem a parte do canal onde está instalada a calha Parschall, nelas existem conexões com tubulações de ferro fundido por onde entra água bruta na estação. Na viga 7 a conexão encontra-se na parte inferior e refere-se à tubulação de água bruta captada no ribeirão sozinha e na viga parede 12 na parte superior, água proveniente do tanque de recuperação, figura 50.

Figura 50 - Viga parede 7 e 12, onde observa-se a chega de tubulação de água bruta e a ocorrência de manifestações patológicas.



Fonte: Autor, 2021.

Observa-se que em ambas as vigas paredes apresentam grande quantidade de manchas e sujeidade, provocadas pelo escoamento de água em ponto onde existem fissuras que permitem a percolação da água.

Na viga parede 19 foi observada a ocorrência de descolamento e empolamento da pintura, além de sujeidade provocado pela presença de mofo em razão de elevada umidade na parede, figura 51.

Figura 51 – Manifestações patológicas na viga parede 19. A) Deslocamento, empolamento e sujeidade na pintura no meio e na porção superior. B) Deslocamento, empolamento e sujeidade na pintura na parte superior da viga parede. C) Outro ponto com degradação da pintura devido a elevada umidade. D) Degradação da pintura na parte superior da viga parede.



Fonte: Autor, 2021.

A situação observada na figura 51 ocorreu em 22/05/2021, todavia, quando foi realizada nova vistoria em 27/12/2021, verificou-se que a viga parede recebeu nova pintura. Tal medida foi realizada sem eliminar as causas das manifestações patológicas, sendo que novas manchas, bem como o descolamento e empolamento da pintura são aparentes, principalmente, na parte superior da viga parede como mostrado na figura 52.

Figura 52 – Manifestações patológicas na viga parede 19 após a realização de reparos. A) Continuidade de descolamento e empolamento referenciado na figura 51. B) Descolamento, empolamento e sujidade da pintura, referenciado nas figuras 51C e D.



Fonte: Autor, 2021.

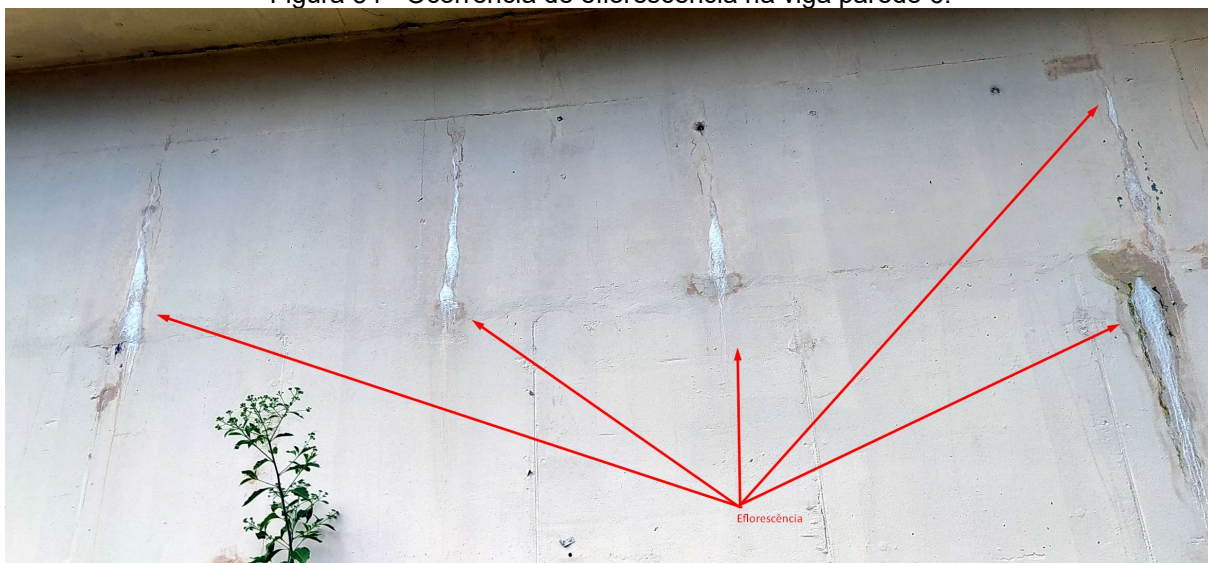
Na viga parede 6 também são observadas as mesmas manifestações patológicas: descolamento, empolamento e sujidade da pintura, figura 53. Nesse local foi identificado também a ocorrência de eflorescência, figura 54.

Figura 53 – Manifestações patológicas na viga parede 6: deslocamento, empolamento e sujeira.



Fonte: Autor, 2021.

Figura 54 - Ocorrência de eflorescência na viga parede 6.



Fonte: Autor, 2021.

As manifestações patológicas relacionadas nas figuras 53 e 54 foram identificadas em 22/05/2021, posteriormente, foi realizada nova pintura no local sem eliminar as causas das patologias, desse modo já existem sinais da continuidade das manifestações patológicas semelhantes as anteriores: eflorescência, descolamento, empolamento e sujeira da pintura, conforme observa-se na figura 55. A continuidade das manifestações decorre-se de que houve tratamento apenas das consequências e não da origem e causa das patologias.

Figura 55 - Manifestações patológicas na viga parede 6. A) Continuidade de eflorescência destacados na figura 54. B) Continuidade de descolamento, empolamento e sujidade referenciados na figura 53.



Fonte: Autor, 2021.

Na viga parede 12B também foi observado a ocorrência de descolamento, empolamento e sujidade na pintura, na parte superior, como mostrado na figura 56.

Figura 56 - Manifestações patológicas na viga 12B.



Fonte: Autor, 2021.

Após pintura da viga parede 12B, observa-se a recorrência das manifestações patológicas, uma vez que as causas de tais problemas não foram devidamente tratados.

Figura 57 - Viga parede 12B, observa-se a continuidade de manifestações patológicas após pintura.



Fonte: Autor, 2021.

As manifestações patológicas observadas na viga parede 13 não são distintas das demais: descolamento, empolamento e sujidade na pintura, porém nessa parede ficou mais evidente a realização de reparo, conforme observado na figura 58. Posteriormente, foi aplicada nova pintura no local, como mostrado na figura 59.

Figura 58 - Manifestações patológicas na viga parede 13, onde é possível observar que já foi realizado reparo no local da patologia.



Fonte: Autor, 2021.

Figura 59 – Continuidade de manifestação patológica na viga parede 13 após pintura. A) Detalhe da continuidade de descolamento, empolamento e sujidade da pintura nos pontos 1 e 2 destacados na figura 58. B) Detalhe da manifestação patológica no ponto 1. C) Detalhe da patologia no ponto 2.



Fonte: Autor, 2021.

4.3.2 Diagnóstico da situação

As manifestações patológicas relacionadas nas vigas paredes externas da ETA Sozinha apresentam semelhanças nos pontos onde ocorrem, sempre em alturas correspondentes as formas de concretagem. Portanto a principal hipótese para os sintomas observados é falha nas juntas de concretagem, visto que se trata de grandes estruturas cuja concretagem foi realizada em etapas. Pode-se relacionar as manifestações a etapa de projeto, visto que não foi especificado tratamento adequado para a realização da concretagem em etapas, visando impedir a ocorrência de problemas relacionados a fissuras e, consequentemente, a infiltrações.

Ainda, pode-se relacionar tais sintomas a questões relativas à execução, pois foram realizadas atividades de impermeabilização interna dessas paredes e elas não foram suficientes para evitar a ocorrência de infiltrações de água, desencadeando as manifestações patológicas relacionadas nas figuras 50 a 59.

Para ilustra adequadamente a questão das juntas de concretagem, é possível relacionar os pontos onde foi identificado as manifestações patológicas com o local das juntas de concretagem. A figura 60 apresenta a parte interna das vigas parede 7 e 12 vista na parte interna em 15/03/2017, posterior a conclusão da impermeabilização do local.

Figura 60 - Juntas de concretagem impermeabilizadas nas vigas parede 7 e 12.



Fonte: Autor, 2017.

Na figura 61 é possível ver a viga parede 12 após conclusão da concretagem, imagem data de 23/09/2015, antes de receber tratamento superficial, conforme indicado observa-se que os pontos onde há problema de infiltração e umidade está relacionado com a última junta de concretagem, portanto, reforça a hipótese que a as causas dessas patologias foram decorrentes da execução das juntas de concretagem.

Figura 61 - - Viga parede 12 após conclusão da concretagem, onde é possível observar falhas nas juntas de concretagem.



Fonte: Autor, 2015.

As manifestações observadas na viga parede 13 também estão relacionadas com a concretagem, em foto feita em 23/09/2015, durante visita técnica na ETA Sozinha é possível identificar dois nichos de concretagem, especificamente nos locais onde observa-se as patologias apresentadas na figura 62. Os nichos de concretagem podem ter sido provocados por inadequações na vibração e adensamento do concreto. A existência desses problemas facilita a penetração dos agentes agressores ao concreto por aumento da porosidade superficial.

Figura 62 - Possível formação de ninhos de concretagem na viga parede 13.



Fonte: Autor, 2015.

Segundo Souza e Ripper (1998) estão relacionadas a falhas na concretagem: problemas durante o lançamento e adensamento do concreto, que podem provocar a segregação entre o agregado graúdo e a argamassa, além da formação de ninhos de concretagem e de cavidades no concreto.

Ainda, em registro fotográfico da ETA Sozinha em 23/09/2015, figura 63, é possível observar diferentes tonalidades do concreto indicando os locais das juntas de concretagem.

Figura 63 - Vista das juntas de concretagem nas vigas paredes 12 e 13.



Fonte: Autor, 2015.

Para Souza e Ripper (1998) a adoção de juntas de concretagem é inevitável, porém deve-se garantir durante sua execução três fatores principais: durabilidade, resistência e estética. Todavia, tais fatores não foram garantidos durante a concretagem dos elementos estruturais ETA Sozinha, principalmente as vigas paredes, haja visto a quantidade de manifestações patológicas existentes, mesmo após os processos de impermeabilização na parte interna das estruturas.

5 CONCLUSÃO

A análise da ocorrência de manifestações patológicas nas Estações de Tratamento de Água da cidade de Senador Canedo, utilizando o método Lichtenstein (1986), permitiu a identificação e o diagnóstico de diversas manifestações patológicas na ETA Lucio Rosa, a saber: descolamento, empolamento, manchas de sujeira; desagregação e deslocamento do concreto; lixiviação e eflorescência, exposição e corrosão de armaduras, fissuras e trincas. A causa principal para ocorrência de tais patologias é a agressão de água pura a superfícies de concreto, que muitas vezes não apresentam proteção superficial (impermeabilização) adequada ou possuem alguma fissura ou microfissura, facilitando a ação do agente agressor ao concreto.

Na ETA Sozinha também foram constadas as seguintes manifestações patológicas: descolamento, empolamento, manchas de sujeira e lixiviação e eflorescência. Por ser uma estação nova, tais patologias ainda são superficiais e estão relacionadas a execução, principalmente a etapa de concretagem, quando não foram adotadas técnicas adequadas para garantir o lançamento e adensamento do concreto nas regiões das juntas de concretagem, problemas que não foram sanadas com a impermeabilização das estruturas.

O método Lichtenstein (1986) demonstrou ser uma metodologia simples e consistente para levantar, identificar e diagnosticar as principais patologias que ocorrem nas estruturas de concreto armado em ETA. Entretanto, é interessante que sejam realizadas pesquisas aprofundadas sobre as origens e causas das manifestações patológicas identificadas, inclusive com a adoção de experimentos laboratoriais para melhor detalhamento desses aspectos e indicação de reparação.

As manifestações patológicas observadas em ambas as estações não comprometem a funcionalidade dos processos de tratamento de água e não representam risco para alteração da qualidade de água tratada. Os estágios que foram observadas as patologias, aparentemente, não correspondem a riscos estruturais. Entretanto, é necessário que a Sanesc, responsável pela operação e manutenção das estações, realize trabalhos técnicos mais aprofundados visando avaliar todos os riscos, bem como a definição de condutas para tratar as causas das patologias, não apenas suas consequências.

6 SUGESTÃO PARA NOVAS PESQUISAS

Considerando que nessa pesquisa realizou-se apenas o levantamento de subsídios e diagnóstico da situação das manifestações patológicas nas estações Lucio Rosa e Sozinha, baseado apenas na inspeção visual, sugere-se que novas pesquisas sejam realizadas com a aplicação de ensaios laboratoriais para melhor caracterização das patologias.

Além disso, sugere-se que novos trabalhos sejam desenvolvidos com o objetivo de definir condutas para reparação das estruturas em que foram identificadas algum tipo de manifestação patologia, bem como a elaboração de manual de reparos de estruturas em Estações de Tratamento de Água, visto que as publicações técnicas com esse tema são escassas e muitas vezes a tendência é simplesmente combater as consequências das patologias e não suas origens e causas.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUIAR, J. E. de. **Estudos das Características Técnicas e Operacionais de Galerias de Águas Pluviais como Subsídios para Gestão Patrimonial e Estabelecimento de Diretrizes para Projetos de Sistemas de Drenagem Urbana**. 279 p. Tese (Doutorado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Programa de Pós – Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 12211**: Estudos de concepção de sistemas públicos de abastecimento de água – Procedimento. Rio de Janeiro, 1992, 14 p.

_____. **NBR 12216**: Projeto de estação de tratamento de água para abastecimento público – Procedimento. Rio de Janeiro, 1992, 18 p.

_____. **NBR 15575-2**: Edificações habitacionais – Desempenho – Parte 2: Requisitos para os sistemas estruturais. Rio de Janeiro, 2014, 31 p.

_____. **NBR 6118**: Projeto de estrutura de concreto – Procedimento. Rio de Janeiro, 2014, 238 p.

_____. **NBR 12655**: Concreto de cimento Portland – Preparo, controle, recebimento e aceitação – Procedimento. Rio de Janeiro, 2015, 23 p.

BARTOLOMEI, R. **Saneamento Municipal de Senador Canedo – Sistema de Abastecimento de Água – Ampliação da ETA – BONSUCESSO Floculadores, Decantadores e Recuperador de águas de lavagens – Planta Baixa**. Senador Canedo, 2009.

BARTOLOMEI, R. **Serviço Municipal de Saneamento de Senador Canedo – Ampliação do Sistema de Abastecimento de Água Estação de Tratamento de Água “ETA – BONSUCESSO”**. Senador Canedo, 2011.

BARTOLOMEI, R. **Agência de Saneamento Municipal de Senador Canedo – SANESC. Sistema de Abastecimento de Água – Ampliação. Estação de Tratamento ETA Sozinha e Estrutural Formas da Base**. Senador Canedo, 2013.

BORGES, M. G. **Manifestações patológicas incidentes em reservatórios de água elevados executados em concreto armado**. Monografia, Universidade Estadual de Feira de Santana, Feira de Santana, 2008.

BRASIL. **Lei nº 11.445, de 05 de janeiro de 2007**: Estabelece as diretrizes para o saneamento básico. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, 05 de janeiro de 2007.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução nº 357**, de 17 de maio de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Brasília, 2005.

BRASIL, Ministério da saúde. **Portaria GM/MS nº 888**, de 04 de maio de 2021. Altera o Anexo XX da Portaria de Consolidação GM/MS nº 5, de 28 de setembro de 2017, para dispor sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Brasília, 2021.

CASCUDO, O. **O controle da corrosão de armaduras em concreto: inspeção e técnicas eletroquímicas**. Pini, Editora UFG, Goiânia, 1997.

DIAS, N. G. **Avaliação da deterioração das estruturas de concreto de Estações de Tratamento de Esgoto**. Dissertação (Mestrado) Universidade Federal de Goiás, Escola de Engenharia Civil e Ambiental (EECA), Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Lisboa, Portugal, 2014.

DI BERNARDO, L.; SABOGAL PAZ, L. P. **A perda de água na estação de tratamento de águas da cidade de Monteiro-PB proveniente das manifestações patológicas das estruturas**. 1ª Edição – São Carlos: Editora LDIBE LTDA, 2008.

DINIZ, Y. L.; SOUSA, N.M. de; RIBEIRO, I. J. C. **Seleção de Tecnologias de Tratamento de Água**. Anais do II Workshop Internacional sobre Água no Semiárido Brasileiro, 2016. Disponível em: <<https://www.editorarealize.com.br/edicao/detalhes/anais-ii-wiasb>>. Acessado em 20 de julho de 2021.

FLORES-COLEN, I. S.; **Metodologia de avaliação do desempenho em serviço de fachadas rebocadas na óptica da manutenção predictiva**. 2009, 487 p. Tese (Doutora em Engenharia) Instituto Superior Técnico – Universidade de Técnica de Lisboa, Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 2009.

GOMES, R. A.; SANTOS, F. F. S. **Estudo de patologias em reservatório de concreto armado**. Anais do VIII SIMPAC, Volume 8 – n.1, p. 396 – 401, Viçosa, 2016. Disponível em: <<https://academico.univicoso.com.br/revista/index.php/RevistaSimpac/article/view/673>>. Acesso em: 20 de julho de 2021.

HELENE, P. R. L. **Manual para reparo, reforço e proteção de estruturas de concreto**. São Paulo: PINI, 1997.

HELLER, L.; PÁDUA, V. L. **Abastecimento de água para consumo humano**. Universidade Federal de Minas Gerais, 2ª edição, 2010.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Pesquisa nacional de saneamento básico, 2008.

KORMANN, A. C. **Estudo do desempenho de quatro tipos de materiais para reparo a serem utilizados em superfícies erodidas de concreto de barragens.** 2005. 196p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2002.

LIBÂNIO, M. **Fundamentos de qualidade e tratamento de água.** 3ª Edição – Campinas: Editora Átomo, 2010.

LICHTENSTEIN, N. B. **Patologia das Construções: procedimento para formulação do diagnóstico de falhas e definição de conduta adequada à recuperação de edificações.** São Paulo: Escola Politécnica da USP, 1985. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade de São Paulo, 1985.

LOPES, A. R. C. **Análise de manifestações patológicas no tanque de aplicação de produtos químicos (TAPQ) da ETA Rio Descoberto – Brasília/DF.** Monografia, Centro Universitário de Brasília (UniCEUB), Brasília, 2018.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: estrutura, propriedades e materiais.** 3 Edição. São Paulo: IBRACON, 2008.

NIVILLE, A. M.; BROOKS, J. J. **Tecnologia do Concreto.** 2ª Edição – Porto Alegre: Bookman Editora Ltda, 2013.

RICHTER, C. A.; **Água: métodos e tecnologia de tratamento.** 1ª Edição – São Paulo: Editora Blucher, 2009.

RICHTER, C. A.; AZEVEDO, J. M. N. **Tratamento de água Tecnologia atualizada,** São Paulo: Blucher, 1991.

SADOVSKI, A. **Teor crítico de cloretos para iniciação da corrosão do aço no betão. Influência do estado de superfície da armadura.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Química e Biológica) – Instituto Superior de Engenharia de Lisboa no Núcleo de Materiais Metálicos do Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa, Portugal, 2014.

SALLA, M. R. **Relação entre saneamento básico e saúde pública em Bissau, Guiné - Bissau.** Saúde e Sociedade [online]. 2019, v. 28, n. 4. Faculdade de Saúde Pública, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S0104-12902019180705>>. Acesso em: 20 de julho de 2021.

Senador Canedo. **Lei Municipal nº 197, de 11 de marco de 1992:** Cria a Autarquia Saneamento de Senador Canedo - Sanesc, Senador Canedo, 1992.

Senador Canedo. **Plano Municipal de Saneamento Básico,** Prefeitura Municipal de Senador Canedo, 2012.

SILVA, V. M.; GUTIERREZ, L. A.; PEREIRA, J. A. **Tratamento e Abastecimento de Água.** Trabalho de Graduação, Universidade Federal do Pará, Belém, 2021. Disponível em:

<https://aedmoodle.ufpa.br/pluginfile.php/367083/mod_resource/content/1/TRATAMENTO%20E%20ABAST%20DE%20AGUA%20TEXT0.pdf>. Acesso em: 20 de julho de 2021.

SANTANA, G. A. **Levantamento de manifestação patológicas em reservatórios de concreto armado no município de Alegrete/RS**. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Federal do Pampa, Alegrete, 2017.

SOUZA, V. C.; RIPPER, T. **Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto**. São Paulo: PINI, 1998.

TORETTI, G.; SPECK, J. A. **Proposta de metodologia para tratamento de patologias recorrentes em reservatórios de água potável, em concreto armado**. Artigo submetido ao curso de Engenharia Civil da Universidade do Extremo Sul Catarinense (UNESC), Criciúma, 2017.

TORRES, A. S; SILVA, V. M. B.; PALIGA, C. M. **Análise das manifestações patológicas em reservatórios elevados na cidade de Pelotas/RS**. Revista Eletrônica de Engenharia Civil (REEC), Volume 12, nº 1, Jun 2016 a Dez 2016, p. 12-22. Goiânia, 2016.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: Ciência e Aplicação**. 4ª ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS / ABRH, 2009.