

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

YARA VANESSA PORTUGUEZ FONSECA

**Manifestações Patológicas em Reservatórios de Água:
Estudo de caso**

Goiânia, GO
2023



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: Yara Vanessa Portuguese Fonseca

Matrícula: 20191011050402

Título do Trabalho: Manifestações Patológicas em Reservatórios de Água: Estudo de caso

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 ____/____/____ (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 incluídos 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, 19/09/2024.

Local Data

YARA VANESSA
PORTUGUEZ
FONSECA:009089
31581

Assinado de forma digital
por YARA VANESSA
PORTUGUEZ
FONSECA:00908931581
Dados: 2024.09.23 16:52:57
-03'00'

Assinatura do Autor e/ou Detentor dos Direitos Autorais

YARA VANESSA PORTUGUEZ FONSECA

**Manifestações Patológicas em Reservatórios de Água:
Estudo de caso**

**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
2023**

F676m Fonseca, Yara Vanessa Portuguez.

Manifestações patológicas em reservatórios de água: estudo de caso / Yara Vanessa Portuguez
Fonseca. – Goiânia: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, 2023.
102f.

Orientação: Prof. Me. Glydson Ribeiro Antonelli.

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

1. Construção civil. 2. Patologias. 3. Concreto armado. 4. Reservatório de água. I. Antonelli,
Glydson Ribeiro (orientação). II. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás. III.
Título.

CDD 693.5

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 DE GOIÁS
CÂMPUS GOIÂNIA

Yara Vanessa Portuguese Fonseca

Manifestações Patológicas em Reservatórios de Água: Estudo de caso

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 Cláudio Marra Alves e Me Bruna Fioramonte .

Aprovado em 06 de Dezembro de 2023.

Documento assinado eletronicamente por:

- Bruna Fioramonte Silva, PROF ENS BAS TEC TECNOLÓGICO-SUBSTITUTO , em 16/12/2023 15:44:55.
- Claudio Marra Alves, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLÓGICO, em 13/12/2023 09:50:33.
- Glydson Ribeiro Antonelli, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLÓGICO, em 07/12/2023 06:42:20.
- Matilde Batista Melo, COORDENADOR(A) DE CURSO - FUC1 - GYN-CCBEC, em 06/12/2023 22:20:06.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 06/12/2023. 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: 486821
Código de Autenticação: a0ab5e2239



Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás
Rua 75, nº 46, Centro, GOIÂNIA / GO, CEP 74055-110
(62) 3227-2736 (ramal: 2736)

À minha pequena Anny.

AGRADECIMENTOS

Eu agradeço a Deus, a meus pais Manoel e Creuzenir, a meu esposo Anselmo, minha filha Anny, e ao meu irmão Érico.

Agradeço a meu orientador Glydson pelos ensinamentos, pela compreensão e pela paciência.

Agradeço a Saneago por autorizar a realização dessa pesquisa.

Agradeço a todos na Saneago por tudo que contribuíram em cada momento, Camila, Eduardo, Giovanni, Geralda, João, Júlio, Lúcia, Marco Túlio, Nayara, Paulo e Reigiele.

Agradeço a todos amigos que me ajudaram nessa jornada.

*“Money may be saved which could be used
for better purposes.”*

*“O dinheiro pode ser economizado para
ser utilizado em melhores propósitos.”*
Sitter, 1984.

RESUMO

Manifestações Patológicas em Reservatórios de Água: Estudo de caso

Autora: Yara Vanessa Portuguese Fonseca
Orientador: Glydson Ribeiro Antonelli

Este trabalho propõe um estudo sobre as manifestações patológicas de reservatórios de concreto armado do Sistema de Abastecimento de Água de Goiânia-GO. Foi realizada a análise das manifestações patológicas em 5 reservatórios de concreto do Sistema de Abastecimento de Água de Goiânia – GO, por meio da metodologia proposta por Lichtenstein. Durante a vistoria foi realizada a inspeção visual e o escaneamento das paredes para detecção da espessura do cobrimento. Foram detectadas as seguintes manifestações patológicas: cobrimento deficiente, corrosão das armaduras, deslocamento do concreto, eflorescência, erosão, fissuras e rachaduras, mofo e umidade. Propõe-se terapias para sanar as manifestações patológicas e restabelecer os reservatórios para o pleno funcionamento. De maneira geral os reservatórios apresentam praticamente as mesmas manifestações patológicas em grau de comprometimento avançado, provando que tanto na idade da construção (cerca de 40 anos) quanto no estágio de degradação as estruturas já estão na fase final da vida útil demandando alto investimento para realização dos reparos.

Palavras-chave:

1. Patologia de Construção Civil. 2. Manifestações Patológicas. 3. Concreto Armado. 4. Reservatórios de Abastecimento de Água.

ABSTRACT

Pathological Manifestations in Water Reservoirs: Case study

Author: Yara Vanessa Portuguese Fonseca

Advisor: Glydson Ribeiro Antonelli

This research proposed a study on the pathological manifestations of reinforced concrete reservoirs in the Goiânia-GO Water Supply System. An analysis of pathological manifestations was carried out in 5 concrete reservoirs of the Goiânia – GO Water Supply System, using the methodology proposed by Lichtenstein. During an inspection, visual inspection and scanning of the walls were carried out to detect the thickness of the covering. The following pathological manifestations were detected: poor coverage, corrosion of reinforcement, concrete spalling, efflorescence, erosion, fissures and cracks, mold and humidity. Therapies have been proposed to remedy pathological manifestations and restore reservoirs to full functioning. In general, the reservoirs present practically the same pathological manifestations in an advanced degree of impairment, proving that both the age of construction (around 40 years) and the stage of development of the structures are no longer the final phase of their useful life, requiring high investment to carry out repairs.

Keywords:.

1.Civil Construction Pathology. 2. Pathological Manifestations. 3. Reinforced Concrete. 4. Water Supply Reservoirs.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	12
1.1 JUSTIFICATIVA	13
1.2 OBJETIVOS	16
1.2.1 OBJETIVO GERAL.....	16
1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	16
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	17
2.1 RESERVATÓRIOS DE SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA	17
2.1.1 Tipos de Reservatório.....	17
2.1.1.1 Pela capacidade de armazenamento	17
2.1.1.2 Pela sua localização no sistema	17
2.1.1.3 Pela localização no terreno.....	18
2.1.1.3.1 Elevado	19
2.1.1.3.2 Enterrado.....	19
2.1.1.3.3 Semi-enterrado	20
2.1.1.3.4 Apoiado	20
2.1.1.4 Pela forma geométrica da estrutura.....	21
2.2 SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA DE GOIANIA	22
2.3 VIDA UTIL	27
2.4 PATOLOGIA DAS CONSTRUÇÕES	29
2.5 CASOS DE MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS ENCONTRADAS EM RESERVATÓRIOS DE CONCRETO	31
2.6 MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS DE ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO.....	32
2.7 METODOLOGIA DE ANÁLISE DE MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS DO CONCRETO ARMADO - MÉTODO LICHENSTEIN	39
3 METODOLOGIA	41
3.1 PESQUISA BIBLIOGRÁFICA	41
3.2 SELEÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DO OBJETO DE ESTUDO.....	41
3.3 MÉTODO DE LICHENSTEIN	42
3.4 ESCANEAMENTO DA PAREDE	42
4 RESULTADOS	43
4.1 Vistoria e Diagnóstico	43

4.2 Prognóstico	93
4.3 Tomada de Decisão	94
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	95
6 CONCLUSÃO	97
7 SUGESTÃO PARA NOVAS PESQUISAS	98
8 REFERÊNCIAS	99

1 INTRODUÇÃO

A água para consumo humano deve ter condições mínimas de qualidade a fim de garantir a segurança e a saúde da população. No Brasil esses parâmetros de potabilidade estão estabelecidos na PORTARIA GM/MS Nº 888, DE 4 DE MAIO DE 2021 que dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. (BRASIL, 2021).

Os Sistemas de Abastecimento de Água - SAA's são responsáveis por manter o fornecimento de água potável em quantidade e qualidade para as populações respeitando os requisitos legais e os padrões de potabilidade (HELLER e PÁDUA, 2010).

Para que se possa adequar a água dos mananciais (superficiais e subterrâneos) aos padrões de potabilidades são utilizadas estruturas de SAA's que são compostos por: Captação, Estações Elevatórias, Adutoras, Estação de Tratamento de Água, Reservatórios e Rede de Distribuição. (Heller e Pádua, 2010; Costa, et al., 2015; Brasil, 2021).

Para execução desses SAA's estruturas de concreto armado são amplamente utilizadas. Durante o período de atividade do SAA podem surgir manifestações patológicas no concreto armado que precisam ser identificadas e tratadas.

Nesse contexto vale ressaltar que a patologia das edificações é o ramo da engenharia em que se estuda as causas e mecanismos de anomalias e problemas nas estruturas, enquanto as manifestações patológicas são os problemas encontrados nas edificações.

Segundo Moraes et al (2020) e Cirino et al., (2020) o concreto armado é amplamente utilizado tendo eficácia em obras de grande e pequeno porte, no entanto se a obra não for executada dentro dos padrões normatizados e/ou durante sua vida útil se não forem realizadas as devidas manutenções ou até mesmo pelo uso inadequado da estrutura podem surgir manifestações patológicas sendo as principais corrosão da armadura, fissura, manchas, trincas, eflorescência, flambagem, carbonatação, desagregação.

Essas manifestações patológicas na maioria das vezes estão relacionadas com a falta de manutenção e o constante contato da estrutura com a água, conforme

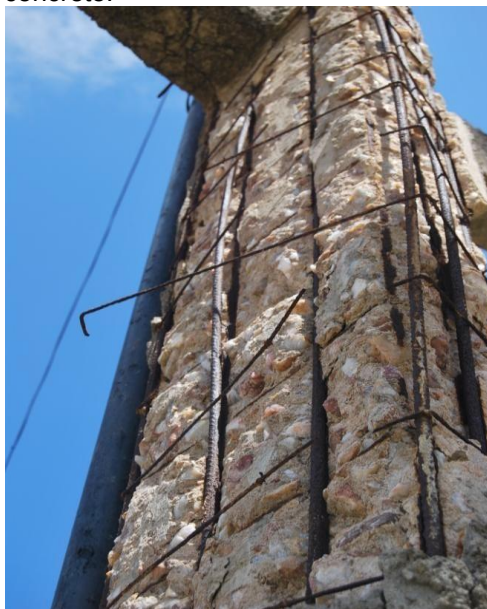
estudos realizados por Tinoco e Moraes (2013) e Torres e Silva, (2016) e Sousa (2022).

Nesse trabalho foram avaliadas manifestações patológicas em 5 reservatórios de concreto do Sistema de Abastecimento de Água de Goiânia – GO, por meio da metodologia proposta por Lichtenstein (1986).

1.1 JUSTIFICATIVA

Reservatórios de concreto armado de SAA's que apresentam manifestações patológicas no concreto armado podem reduzir o desempenho operacional, ocasionar situações de desabastecimento e até redução da vida útil da obra o que impacta de forma direta a população. As figuras 1 e 2 mostram pilares de reservatórios apresentando corrosão nas armaduras em estágios bastante avançados encontrados por Tinoco e Moraes (2013).

Figura 1: Pilar de reservatório elevado do Município de Jardim de Angicos-RN apresentando corrosão intensa nas armaduras, seccionamento dos estribos e início de deformação das armaduras longitudinais, além de deslocamento de concreto.



Fonte: Tinoco e Moraes (2013).

Figura 2: – Pilar de reservatório do município de São Tomé-RN, também apresentando corrosão nas armaduras, perda de seção e intenso deslocamento de concreto.



Fonte: Tinoco e Moraes (2013).

Da mesma forma Rachid e Londero (2013) puderam verificar a existência de várias fissuras verticais na parte superior e pontos de infiltrações, conforme figura 3; eflorescências perto da base que estavam ocasionando pequenos vazamentos, conforme figura 4. As manifestações patológicas tanto na parte superior quanto inferior podem ser decorrentes de infiltração por falta de impermeabilização da infraestrutura do reservatório, pelo fato das áreas atingidas serem expostas a ação de intempéries.

Figura 3 – Manifestações Patológicas no reservatório 01 Cascavel-PR - fissuras horizontais no sentido das juntas de concretagem dos anéis do reservatório.



Fonte: Rachid e Londero (2013)

Figura 4 – Patologia perto da base no reservatório 01- Cascavel-PR.



Fonte: Rachid e Londero (2013)

Segundo Helene (2002), pode-se afirmar que problemas patológicos são evolutivos e tendem a agravar com o passar do tempo, além de acarretarem outros problemas associados ao inicial, de forma que as correções serão mais duráveis, mais efetivas, mais fáceis de executar e muito mais baratas quanto mais cedo forem executadas.

Este trabalho contribui para o estudo e a compreensão das manifestações patológicas que podem ser encontradas nos reservatórios de concreto de Sistemas

de Abastecimento de Água, auxiliando na elaboração de medidas preventivas e corretivas que visem aumentar a vida útil e reduzir custos com reparos.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 OBJETIVO GERAL

Estudo sobre as manifestações patológicas de reservatórios de concreto armado do Sistema de Abastecimento de Água de Goiânia-GO.

1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Os objetivos específicos desse trabalho foram:

Realizou-se a análise das manifestações patológicas em 5 reservatórios de concreto do Sistema de Abastecimento de Água de Goiânia - GO.

Para cada manifestação patológica detectada foram identificadas as possíveis causas e levantadas algumas alternativas de intervenção (sem detalhar especificação técnica executiva e equipamentos).

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 RESERVATÓRIOS DE SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA

Na concepção dos SAA's os reservatórios são unidades que podem ser projetados para atender diferentes necessidades dentre elas realizar a compensação de vazões de produção e distribuição, condicionar pressões nas redes, reservas de emergência, otimização de custos energéticos.

Usualmente opta-se pelo concreto armado nos Reservatórios de SAA's de maior porte (Heller e Pádua, 2010). O concreto é um material construtivo amplamente disseminado, resultante da mistura de agregados com cimento e água que após endurecido, tem resistência similar à das rochas naturais possibilitando sua modelagem das mais diversas formas (Ibracon, 2009).

Quando utilizado associado com barras de aço é denominado concreto armado essa combinação em que as barras de aço aumentam a capacidade de carga das peças comprimidas possibilita inúmeras vantagens no emprego desse material como por exemplo, economia, facilidade de execução e diversos tipos de formas, resistência ao fogo, aos agentes atmosféricos, ao desgaste mecânico, praticamente não requer manutenção ou conservação (Araújo, 2014).

2.1.1 Tipos de Reservatório

Os reservatórios de SAA podem ser classificados de quatro formas: pela capacidade de armazenamento, pela localização no sistema; pela localização no terreno; pela sua forma e pelos materiais de construção que neste estudo nos limitaremos a estruturas de concreto armado.

2.1.1.1 Pela capacidade de armazenamento

No que se refere a sua capacidade de armazenamento os reservatórios que compõem os SAA's são divididos em pequenos com volumes inferior a 500m^3 ; médios com volumes entre 500m^3 e 5.000m^3 e grandes, volumes superior 5.000m^3 (Portugal, 1995).

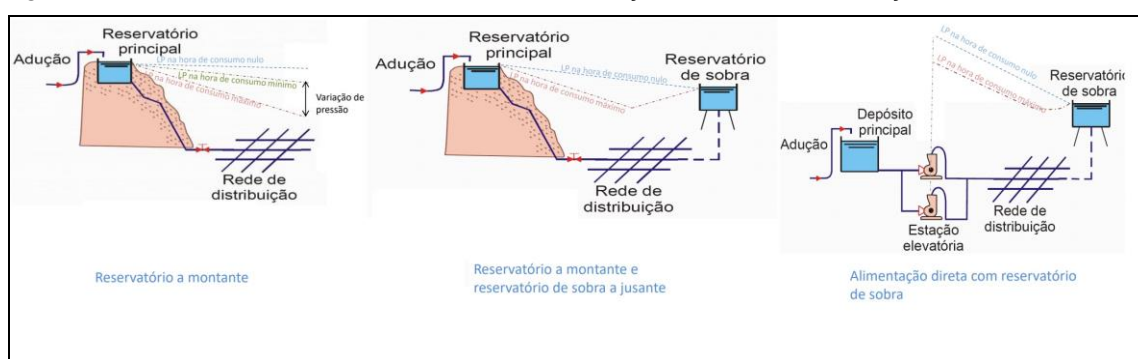
2.1.1.2 Pela sua localização no sistema

De acordo com sua localização no sistema em relação à rede de distribuição os reservatórios são divididos em reservatórios de montante, de jusante e intermediários. Ver figura 5.

Os reservatórios de montante são aqueles posicionados à montante da rede de distribuição fornecendo água para toda área de influência. Os reservatórios de jusante ou reservatórios de sobra são aqueles posicionados à jusante da rede de distribuição, armazenando água nos horários de menor consumo e auxiliando na distribuição nos horários de maior consumo (ABNT, 1994).

O reservatório de posição intermediária, por sua vez, se mantém intercalado no sistema de adução e serve como “volante de regularização das transições entre bombeamento e/ou adução por gravidade” (Tsutiya, 2006).

Figura 5 – Posicionamento dos reservatórios em relação à rede de distribuição.

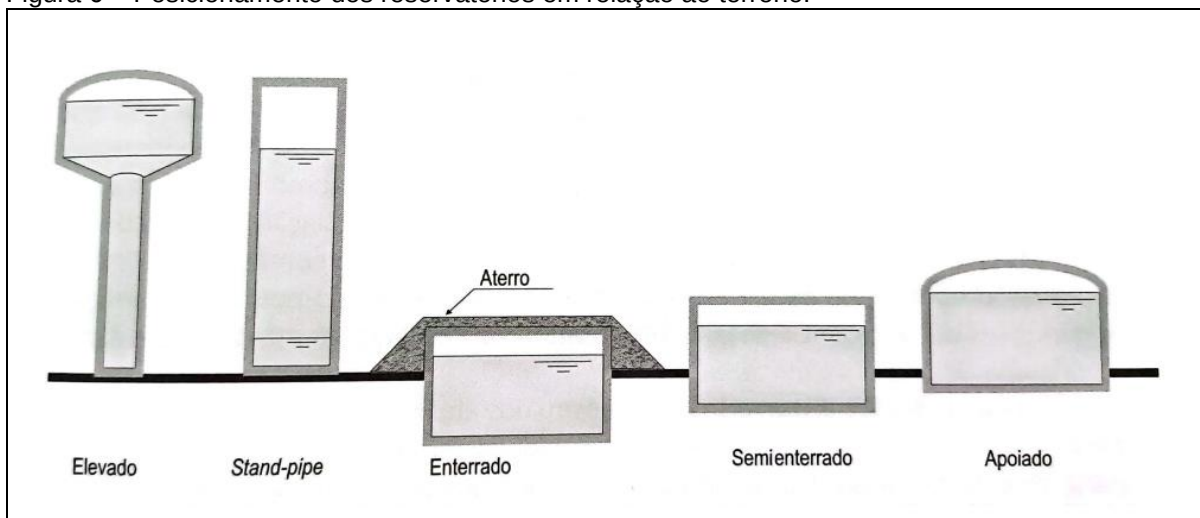


Fonte: adaptado de Kishi (2020).

2.1.1.3 Pela localização no terreno

Como pode ser verificado na figura 6 os reservatórios podem ser classificados quanto à sua localização no terreno por: elevado, *stand-pipe*, enterrado, semi-enterrado e apoiado.

Figura 6 – Posicionamento dos reservatórios em relação ao terreno.



Fonte: Heller e Pádua (2010).

2.1.1.3.1 Elevado

Os reservatórios elevados são aqueles que possuem sua cota de fundo elevada em relação ao terreno em que estão situados. Ver figura 7.

Figura 7 – Reservatório elevado
SAA Goiânia, Saneago.

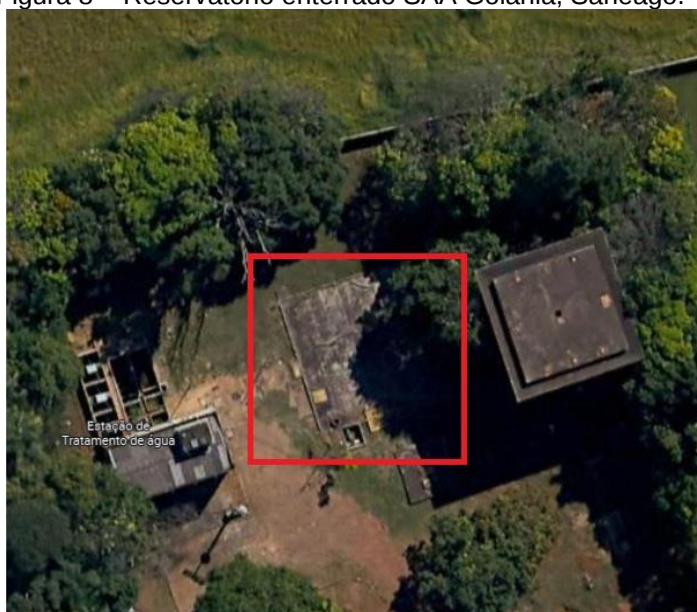


Fonte: Autoria própria (2023).

2.1.1.3.2 Enterrado

Os reservatórios enterrados são aqueles cuja estrutura se encontra abaixo da cota do local em que se encontram. Ver figura 8.

Figura 8 – Reservatório enterrado SAA Goiânia, Saneago.



Fonte: satélite view, google maps (2023).

2.1.1.3.3 Semi-enterrado

O reservatório semi-enterrado deve estar enterrado pelo menos um terço de sua altura, ver figura 9.

Figura 9 – Reservatório semi-enterrado SAA Goiânia, Saneago.



Fonte: Autoria própria (2023).

2.1.1.3.4 Apoiado

O reservatório apoiado tem sua cota de fundo próxima a do terreno. Ver figura 10.

Figura 10 – Reservatório apoiado SAA Goiânia, Saneago.

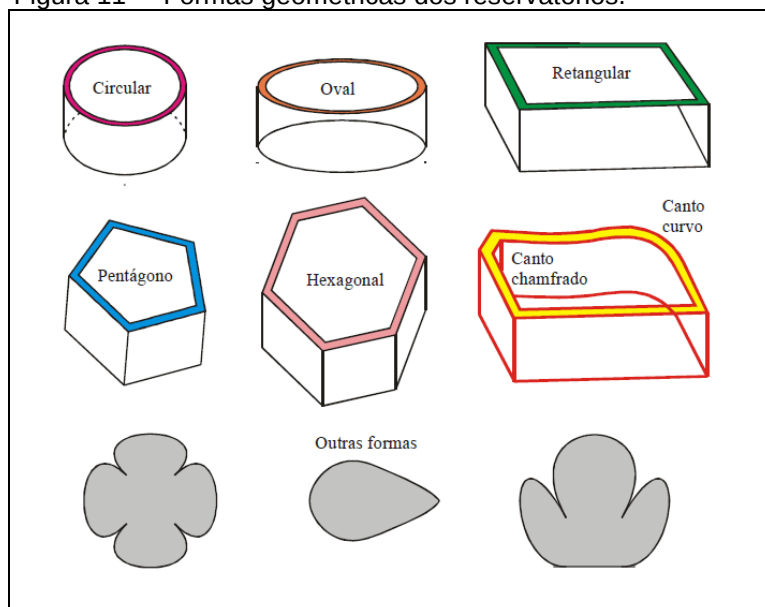


Fonte: Street view, google maps (2023).

2.1.1.4 Pela forma geométrica da estrutura

Conforme figura 11, os reservatórios podem ser projetados com as mais variadas formas geométricas tais como, circular, quadrada, retangular, hexagonal, entre outras, com ou sem bordas chanfradas e por vezes sua forma geométrica se torna um atrativo.

Figura 11 – Formas geométricas dos reservatórios.



Fonte: Cascudo et al. (2001).

No Kuwait existem dois reservatórios de água que compõem um monumento chamado “Abraj Al-Kuwait” (“Torres de Água de Kuwait”), que desde a sua

inauguração em 26 de fevereiro de 1977, é considerado um símbolo de identidade nacional. Ver figura 12.

Esses reservatórios são parte integrante de uma rede de abastecimento de água de abrangência nacional composta por mais 31 torres de água (conhecidas por torres de cogumelos) que se encontram estrategicamente distribuídas em grupos pelo país, e estão ligados à rede de distribuição das duas estações de destilação de água do mar já construídas (UNESCO, 2023).

Figura 12 – A esquerda reservatórios de concreto em formato de cogumelo e à direita as Torres de Água do Kuwait (Abraj Al-Kuwait em árabe), reservatório de concreto que se tornaram símbolos nacionais.

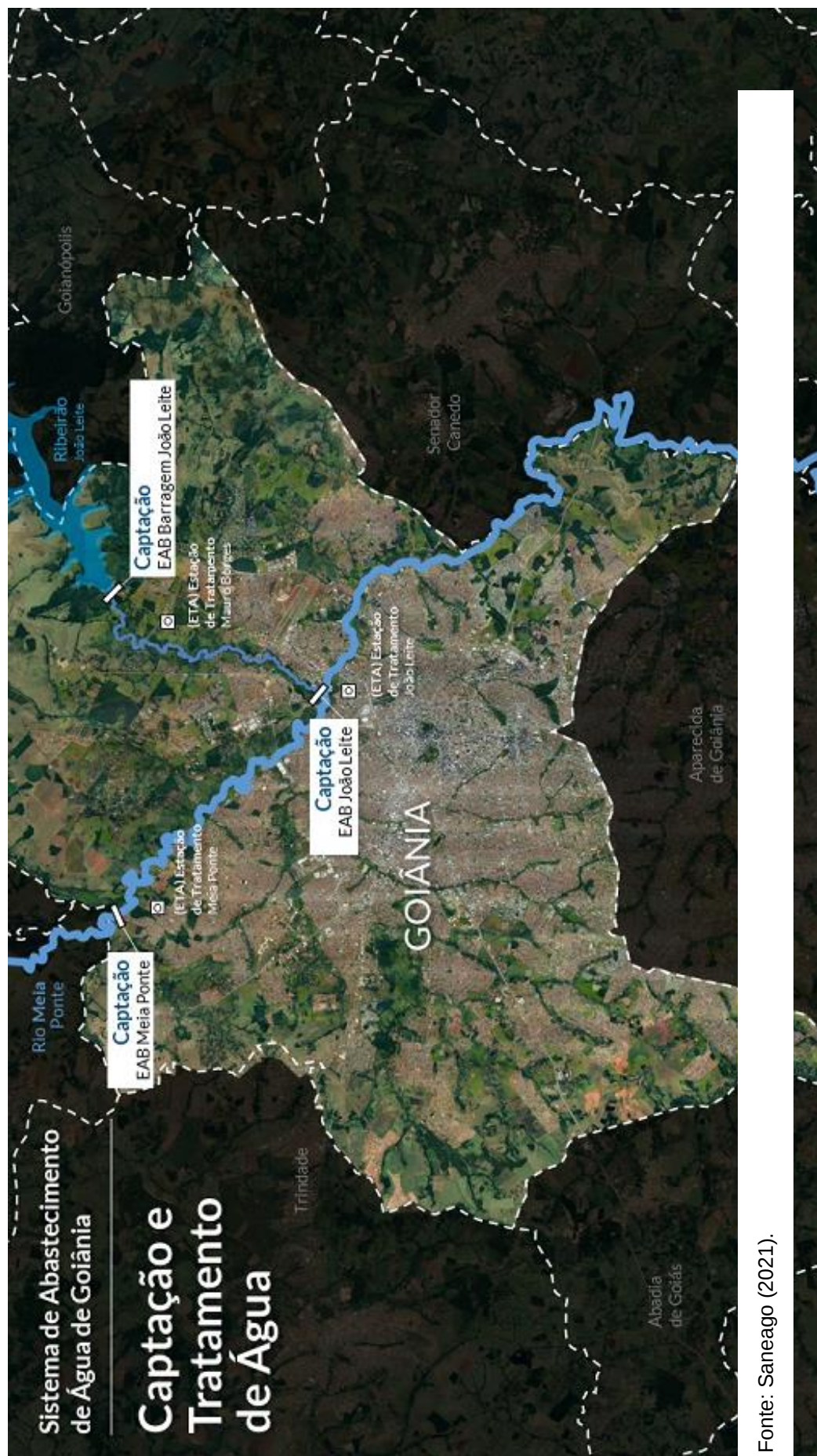


Fonte: AKDN (2023).

2.2 SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA DE GOIANIA

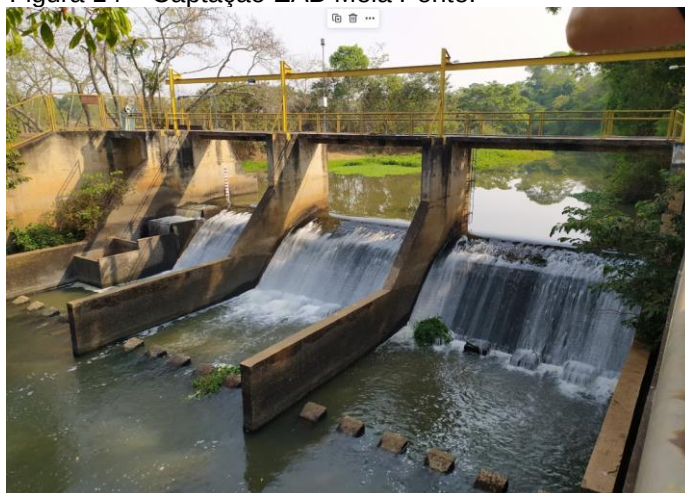
De acordo com a Saneago (2021), o Sistema de Abastecimento de Água de Goiânia recebe água proveniente de dois mananciais superficiais o rio Meia Ponte e o ribeirão João Leite, ver figura 13. A captação no rio Meia Ponte é feita de forma direta e direciona a água para a Estação de Tratamento de Água (ETA) Engenheiro Rodolfo José da Costa e Silva, que trata diariamente 2.000 L/s, ver figura 14. A captação no ribeirão Joao Leite por sua vez é feita em dois pontos uma captação direta de 2000 L/s que abastece a ETA Jaime Câmara e a captação realizada na Barragem João Leite que envia 4.000 L/s para a ETA Mauro Borges, ver figuras 15 e 16.

Figura 13 – Sistema de Abastecimento de Água de Goiânia. Captação e Tratamento de Água



Fonte: Saneago (2021).

Figura 14 – Captação EAB Meia Ponte.



Fonte: Autoria própria (2020).

Figura 15 – Captação EAB João Leite.



Fonte: Autora (2017).

Figura 16 – Captação EAB Barragem João Leite.

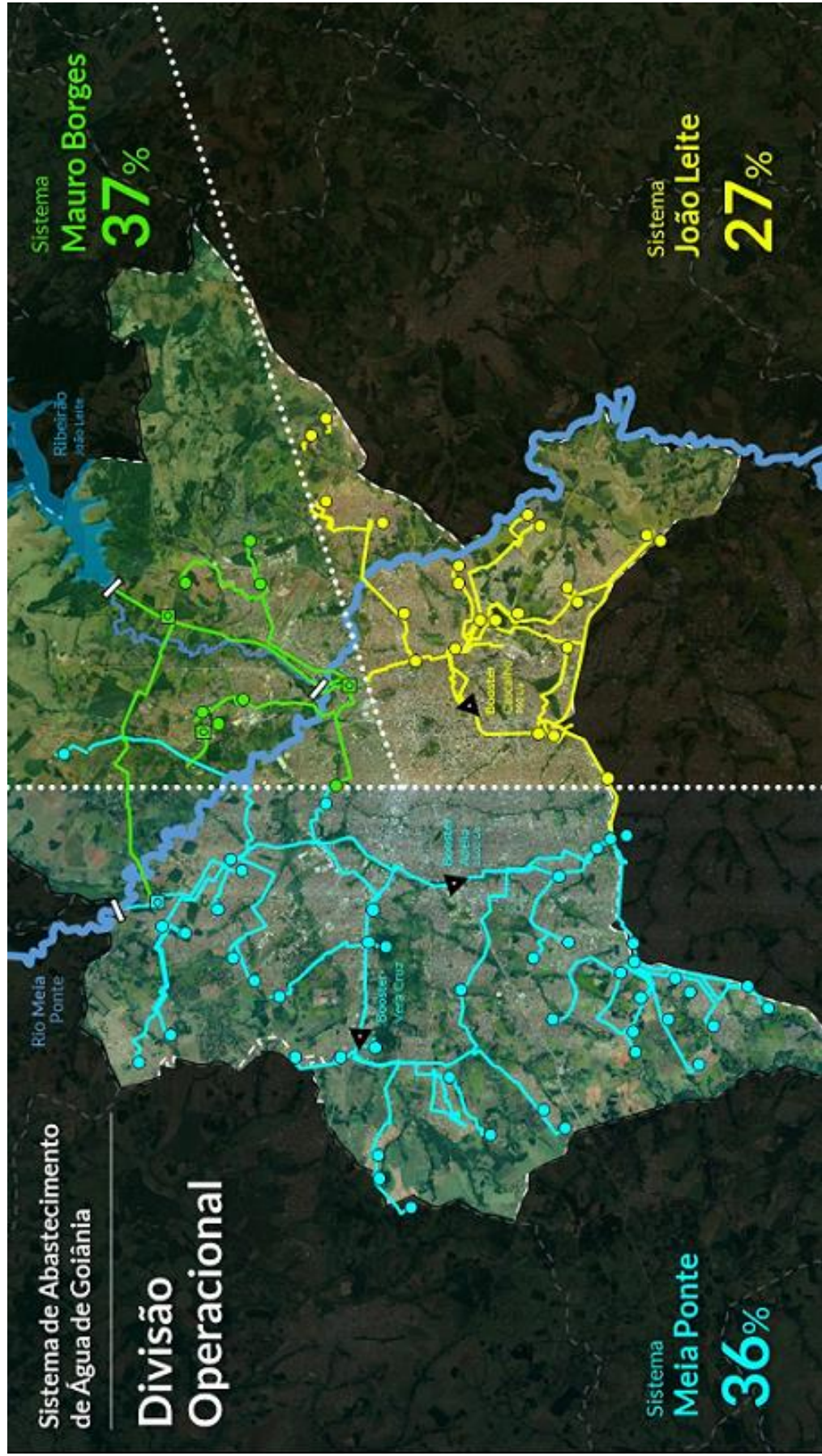


Fonte: Autora (2020).

Segundo SNIS (2022) o Índice de atendimento urbano por rede de água em Goiânia é de 99,5%, onde mais de 1,5 milhão de pessoas são atendidas com água potável. O sistema de Abastecimento de água de Goiânia tem papel de destaque no cenário nacional pois alcançou em 2022 o menor Índice de perdas na distribuição do país 18,8%. Entre as ações de combate a perda estão modulação de redes, instalação de válvulas redutoras de pressão, substituição de hidrômetros, detecção de vazamentos ocultos e acompanhamento em tempo real dos níveis de reservatórios, estações de bombeamento e estações de tratamento de água, por meio de Sistemas Supervisórios Automatizados de Telemetria e Telecomando. (Saneago, 2019)

A Capital conta com 125 reservatórios que armazenam mais de 250 milhões de litros de água tratada. Na figura 17 é possível ver a divisão operacional com destaque para os maiores reservatórios. De sorte que, o Sistema Meia Ponte abastece as regiões Norte, Noroeste, Oeste e Sudoeste de Goiânia e o Sistema Mauro Borges/João Leite faz o atendimento das regiões Leste, Central, Sul e Sudeste – além de parte de Região Norte, em paralelo ao Meia Ponte. (Saneago, 2021).

Figura 17 – Sistema de Abastecimento de Água de Goiânia. Divisão Operacional.



Fonte: Saneago (2021).

Os reservatórios do SAA Goiânia são de material metálico, fibra e concreto armado. Dos 125 reservatórios que compõem o SAA Goiânia, 74 são de concreto armado nos formatos apoiado, elevado, enterrado e semi-enterrado; sendo eles 29 de pequeno porte de 68 m³ até 300 m³, 35 de médio porte de 500 m³ a 5000 m³ e 10 de grande porte de 10000m³ a 30000m³ (Saneago, 2023).

2.3 VIDA UTIL

De acordo com a NBR 6118 (ABNT, 2023) a vida útil é o período de tempo em que se mantêm as características das estruturas de concreto, sem intervenções significativas, desde que atendidos os requisitos de uso e manutenção prescritos pelo projetista e pelo construtor.

Para que seja atingida a durabilidade desejada das estruturas de concreto é necessária a cooperação e atitudes coordenadas de todos os envolvidos nos processos de projeto, construção e utilização. Esse conceito aplica-se à estrutura como um todo ou às suas partes.

Entende-se por vida útil de uma construção o período, depois de entrar em utilização, durante o qual todas as suas propriedades relevantes estão acima de níveis mínimos aceitáveis, considerando a realização de manutenções. há dois conceitos de Vida Útil aplicados às construções, um funcional e outro estrutural. A Vida Útil Funcional é o tempo em que se garante a rentabilidade do investimento, enquanto a Vida Útil Estrutural assegura que a estrutura suporta essa situação pelo menos durante aquele período (BRANCO et al, 2013).

Sitter (1984) discorreu sobre os custos para otimização da vida útil de uma construção embasado nos conceitos de durabilidade do concreto introduzidos por Tuutti, e propôs 4 fases da vida de uma estrutura de concreto armado.

Fase A

A primeira fase consiste no período de projeto, construção e cura. Nesta fase é possível atingir um determinado nível de durabilidade desejado em relação à vida útil, tomando medidas de "boas práticas de engenharia".

Fase B

Nesta fase ocorre alguma carbonatação e talvez cloretos e/ou agentes agressivos podem ter penetrado na cobertura. Nesse momento as medidas a serem tomadas para alcançar o tempo de vida desejado são somente de manutenção como limpeza, revestimento e/ou impregnação.

Fase C

Nessa fase da edificação verifica-se que o processo de carbonatação atinge a armadura em vários pontos. A corrosão começa localmente e a tampa começa a descascar. Para garantir o uso continuado da estrutura durante a vida útil desejada, devemos tomar medidas de "Reparação e Manutenção".

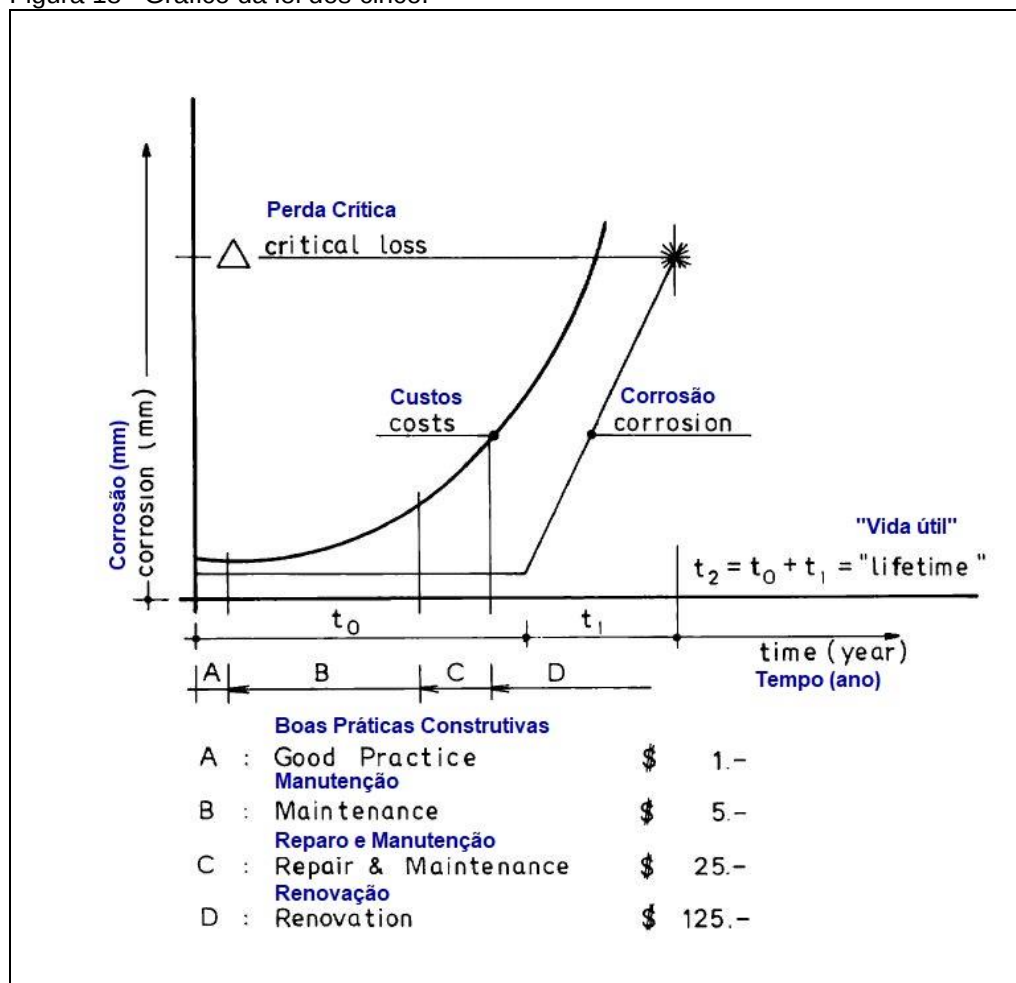
Fase D

Trata-se da fase mais avançada da vida útil da edificação. Percebe-se que o aço começa a corroer em grandes áreas. A cobertura lasca em muitos lugares e rachaduras aparecem em larga escala. A estrutura pode ser salva apenas tomando medidas importantes demandando "Grandes reparações e renovações".

Partindo-se dessa análise Sitter (1984) ainda recomendou que os procedimentos fossem revistos a partir de então, mudando o foco das fases C e D onde os processos de deterioração são avançados e os custos de reparo elevado para voltar a atenção, às fases A e B.

Afirmando que "Um dólar gasto na fase A é igual a cinco dólares na fase B é igual a vinte e cinco dólares na fase C é igual a cento e vinte e cinco dólares na fase D". O que significa que a mesma vida útil pode ser alcançada com um pouco mais de atenção às "Boas práticas de engenharia" na fase A, custando \$ 1, por unidade de área, como medidas caras na fase C em relação ao "Reparo e manutenção" custando talvez \$ 25, ver figura 18.

Figura 18 –Gráfico da lei dos cinco.



Fonte: Sitter (1984) com tradução em azul da autora (2023).

Mariano e Martins (2018) ressaltam que Sitter(1984) usou como base o modelo de propagação da corrosão de armaduras para descrever a “Lei dos Cincos”, contudo, atualmente tem-se conhecimento de diversos outros mecanismos de degradação de estruturas de concreto.

2.4 PATOLOGIA DAS CONSTRUÇÕES

Patologia é a ciência que estuda as doenças no contexto da construção civil é ciência que estuda os mecanismos, os sintomas, as causas e origens dos defeitos das obras. Helene (2002) afirma que há construções que apresentam manifestações patológicas em que há comprometimento dos aspectos estéticos e, na maioria das vezes, redução da capacidade resistente, podendo chegar, em certas situações, de colapso parcial ou total da estrutura.

Na patologia das construções estuda-se a causa, natureza e origem da manifestação patológica. Sendo a causa a razão primária da manifestação patológica, é onde se descreve o fato; natureza é a razão secundária da manifestação patológica e a origem é o 'porquê' da manifestação patológica ela que explica a razão principal para o seu surgimento (Antonelli, 2020).

Souza e Ripper (1998) propõem uma classificação da deterioração das estruturas de concreto quanto causas Intrínsecas e Extrínsecas aos processos em que intrínsecas estão relacionadas à falhas humanas durante a construção, falta de manutenção ou causas naturais e causas extrínsecas decorrem de falhas humanas durante o projeto ou utilização, ações mecânicas e ações físicas. Também discorrem que o conhecimento das origens da deterioração é indispensável, não apenas para que se possa proceder aos reparos exigidos, mas também para se garantir que, após separada, a estrutura não volte a se deteriorar.

2.4.1 Problemas relacionados ao Projeto

Souza e Ripper (1998) alertam que erros no início do projeto e transferidos para as próximas etapas, tendem a causar maiores danos e soluções de correção mais complexas.

Segundo Antonelli (2002) os problemas relacionados à fase de projeto podem ser decorrentes de falta de projeto, falta de compatibilização com os demais projetos, projeto deficiente em detalhes, especificações dos materiais inadequados no projeto.

2.4.2 Problemas relacionados à construção

Para Pires (2011) na etapa de execução o empreendimento precisa ser construído garantindo o atendimento ao projeto. Algo comum e de grande seriedade, que ocorre na construção, é a adaptação e ou alteração do projeto que pode ser feita sem consultar os profissionais responsáveis pela sua elaboração. Isso geralmente ocorre sob a justificativa de serem necessárias certas simplificações construtivas, ou mesmo econômicas.

2.4.3 Problemas relacionados ao uso

Segundo Souza e Ripper (1998) o desconhecimento técnico, a incompetência, o desleixo e falta de recursos financeiros dos proprietários e/ou usuários das edificações acarretam a manutenção inadequada, ou mesmo ausência total de manutenção no longo prazo isso se torna a causa de surgimento de

problemas estruturais de maior monta, implicando gastos significativos e, no limite a própria demolição da estrutura.

2.5 CASOS DE MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS ENCONTRADAS EM RESERVATÓRIOS DE CONCRETO

Em Cascavel-PR 10 (dez) reservatórios de concreto foram analisados e foram detectadas algumas manifestações patológicas como fissuras, eflorescências, criptoflorescências, infiltração, mofo e bolor, descolamento do revestimento, sendo que na maior parte dos casos (31%) foi identificada a incidência de fissuras, seguido pelas eflorescências que apareceram em 21% dos casos.

Na avaliação foram considerados fatores como volume do reservatório, localização, método construtivo, idade e manutenção. Em conclusão atribuíram a falta de planejamento e problemas na execução, aliados a materiais de baixa qualidade, ausência de manutenções preventivas e grandes carregamentos como algumas das causas desses problemas patológicos (Rachid e Londero, 2013).

Santana (2017) fez um levantamento das manifestações patológicas dos reservatórios feitos em concreto armado localizados na cidade de Alegrete – RS e ao analisar 5 (cinco) reservatórios concluiu que as manifestações patológicas mais recorrentes nesse tipo de estrutura são: fissuras, manchas causadas por bolor e fungos, corrosão das armaduras e umidade na superfície.

Em Criciúma o estudo realizado por Toretti e Speck (2017) realizou vistorias em 25 reservatórios e todos os reservatórios vistoriados apresentaram algum tipo de manifestação patológica sendo fissuras 49,02% dos casos, eflorescência em 23,53%, infiltrações em 19,61% e trincas em 7,84%. Ficou evidente que a sua maior incidência aconteceu nas estruturas apoiadas e semi apoiadas, de geometria circular, precisamente nos anéis de concretagem.

Da Silva et al (2020) em um estudo de caso realizado no município de Resende (RJ) analisaram um reservatório de água de concreto armado e identificaram as manifestações patológicas: fissuras com umidade; vazamentos, eflorescência segregação superficial do concreto. Durante o estudo avaliaram o histórico da obra e puderam identificar falhas construtivas que deram início ao problema patológico.

Num estudo realizado por Batista (2022) em dois reservatórios de concreto armado na Cidade de São José de Piranhas-PB encontrou as seguintes

manifestações patológicas: manchas, fissuras, deslocamento do concreto, corrosão das armaduras e infiltrações. Em sua análise descreveu que as manifestações patológicas em estruturas de concreto armado advêm de uma série de fatores que colaboram para sua deterioração, sendo que, as falhas de projeto e principalmente falhas na execução são determinantes para a ocorrência das manifestações patológicas.

Na figura 19 tem-se um quadro resumo dos casos apresentados acima.

Figura 19 –Quadro de casos de manifestações patológicas encontradas em reservatórios de concreto

Autores	Local	Nº de reservatórios analisados	Manifestações Patológicas encontradas
RACHID E LONDERO, (2013).	Cascavel-PR	10	fissuras, eflorescências, criptoflorescências, infiltração, mofo e bolor, descolamento do revestimento.
SANTANA (2017)	Alegrete – RS	5	fissuras, manchas causadas por bolor e fungos, corrosão das armaduras e umidade na superfície.
TORETTI E SPECK (2017)	Criciúma -SC	25	fissuras, eflorescência, infiltrações e trincas.
SILVA ET AL (2020)	Resende (RJ)	1	fissuras com umidade; vazamentos, eflorescência segregação superficial do concreto.
BATISTA (2022)	São José de Piranhas-PB	2	manchas, fissuras, deslocamento do concreto, corrosão das armaduras e infiltrações.

Fonte: Compilado pela autora.

2.6 MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS DE ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO

2.6.1 Carbonatação

A carbonatação do concreto comumente é uma reação entre o dióxido de carbono (CO₂) presente na atmosfera e os produtos gerados durante a hidratação do cimento. O dióxido de carbono penetra nos poros do concreto através de difusão e reage com o hidróxido de cálcio no interior do concreto. Resulta na reação carbonato de cálcio, que afeta diretamente o pH do concreto causando a redução dele trazendo valores inferiores a 9 e à consequente perda da película passivante

que protege as armaduras. Com a perda dessa proteção as armaduras estarão sujeitas à ocorrência de oxidação caso haja a presença de oxigênio e água (Nascimento e Fontes, 2021).

Segundo Tokudome (2009) a carbonatação ocorre em estruturas úmidas e expostas a grande quantidade de gás carbônico (CO_2). O processo inicia-se com o gás carbônico diluindo-se à umidade e formando o ácido carbônico (H_2CO_3). Este por sua vez, reage rapidamente ao hidróxido de cálcio ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) da pasta de cimento produzindo o carbonato de cálcio (CaCO_3). Este elemento formado não deteriora o concreto, porém durante sua formação consome álcalis da pasta (ex: $\text{Ca}(\text{OH})_2$ e C-S-H) e reduz o pH.

Normalmente o concreto apresenta um pH entre 12,6 e 13,5, porém após a carbonatação este valor cai para aproximadamente 8,5, atingindo a estrutura primeiramente em sua superfície, mas evoluindo-se para o interior do concreto.

Quando a carbonatação atinge a armadura do concreto ocorre a despassivação do aço, deixando-o vulnerável aos ataques de agentes agressivos. Após essa despassivação, caso haja ao mesmo tempo umidade, diferença de potencial, agentes agressivos (CO_2 e fuligem) e oxigênio ao redor da armadura será iniciado o processo de corrosão.

Vários danos podem ocorrer ao concreto devido à carbonatação, tais como: fissuração, destacamento do revestimento do aço, redução da seção da armadura, e perda de aderência do aço com o concreto. (Antonelli, 2020).

2.6.2 Cobrimento Deficiente

O revestimento da armadura tem um valor normatizado. A peça estrutural quando apresenta um revestimento deficiente é mais suscetível à penetração de agentes agressivos que podem atacar as armaduras e dar início ao processo corrosivo.

2.6.3 Corrosão das Armaduras

O processo de corrosão do aço no concreto envolve uma fase inicial, na qual os agentes agressivos alteram as condições do concreto no entorno da barra, despassivando a armadura, seguindo-se da formação de uma célula de corrosão, responsável pela propagação da corrosão. No caso da corrosão em estruturas de concreto armado, as formas mais comuns são a corrosão generalizada irregular e a corrosão puntiforme ou por pites (Figueiredo e Meira, 2013), ver figuras 20 e 21.

Figura 20. Aparência superficial da corrosão generalizada desencadeada pela carbonatação do concreto (a) e da corrosão puntiforme desencadeada pela ação dos íons cloreto (b).



Fonte: Figueiredo e Meira (2013).

Figura 21. Corrosão no concreto armado.



Fonte: Pereira (2010).

Na figura 22 é possível identificar logo abaixo da viga, uma grande mancha de corrosão das armaduras. Santana (2017) relatou que a provável causa é pela entrada de água por poros ou pela fissura do entorno do reservatório, essa água percolou até chegar às armaduras. Por ser uma mancha considerada grande, é provável que a armadura dessa área esteja com sua resistência comprometida, podendo causar problemas graves no futuro, pois a presença de ferrugem indica

uma diminuição da capacidade resistente da armadura, pois a área de aço perde seção, saindo à ferrugem.

Figura 22. Corrosão no concreto armado, Reservatório 01, Alegrete/RS.



Fonte: Santana (2017).

2.6.4 Desplacamento do Concreto

Segundo Piancastelli (2019) quando ocorre surgimento de tensões de tração acima da resistência do concreto surge o fenômeno de deslocamento do concreto que é a ruptura e destacamento do concreto superficial. Na figura 23 é possível verificar uma armadura exposta devido ao deslocamento do concreto.

Figura 23. Desplacamento do concreto e exposição das armaduras no pilar. São José de Piranhas-PB



Fonte Batista (2022).

2.6.5 Eflorescências e Criptoflorescências

As eflorescências caracterizam-se, de modo geral, pela formação de uma substância de aparência cristalina ou filamentosa, geralmente de cor esbranquiçada, que aflora à superfície alterando o aspecto visual do revestimento. Às vezes, as formas geométricas dos cristais lembram flores e por isto a utilização da palavra “florescência” para designar qualquer tipo de cristalização de sais. Nos casos em que a cristalização dos sais ocorre antes destes chegarem à superfície, em alguma cavidade do próprio material, o fenômeno é denominado criptoflorescência (ou subeflorescência). Em função do tipo de sal que cristaliza, podem tipificar-se as eflorescências: as que são compostas por carbonatos (cálcio, magnésio), por sulfatos (cálcio, magnésio, potássio, sódio), por cloretos (cálcio, magnésio, potássio) e por nitratos (potássio, sódio, amônio). (Magalhães, 2013).

As manifestações patológicas eflorescência e criptoflorescência são fenômenos bastante comuns no dia a dia e podem ser observadas nas figuras 24 a 26.

Figura 24. Manifestações patológicas na face oeste do reservatório R02, Alegrete/RS.



Fonte: Santana (2017).

Figura 25. Eflorescências no reservatório 10, Cascavel-PR.



Fonte: (Rachid e Londero, 2013).

Figura 26. Criptoflorescências no reservatório 02, Cascavel-PR.



Fonte: (Rachid e Londero, 2013).

2.6.6 Erosão

É o desgaste pela ação abrasiva de fluídos contendo partículas sólidas em suspensão (areia, cascalho e pedras). Ocorre em estruturas hidráulicas, revestimento de canais, vertedouros, tubulação de água de esgoto. A manifestação do desgaste se apresenta com espessuras que podem variar de 1cm a 3m. O problema pode ter a sua origem no projeto, execução (dosagem do concreto e escolha do material) (Antonelli, 2020).

2.6.7 Fissuras

Caracterizadas por aberturas longitudinais no material, podendo ser perceptíveis ou não ao usuário. As fissuras são um meio para a entrada de agentes prejudiciais para a integridade do elemento estrutural, como agentes agressivos à armadura, causando sua corrosão. (Berti et al 2019). A fissuração ocorre sempre que a deformação a tração a que o concreto está submetido excede sua própria resistência. A capacidade de deformação a tração do concreto varia com a idade e velocidade de aplicação da deformação (Granato, 2023) conforme figura 27.

Figura 27. Fissura no Reservatório R0, Criciúma. -SC.



Fonte Toretti e Speck (2017).

2.6.8 Manchas de Mofo

Mofo e bolor são fungos vegetais que necessitam de ar e água para suas proliferações nas superfícies das partes das edificações que se encontram constantemente umedecidas e que tornam os ambientes propícios ao desenvolvimento destes (Antonelli, 2020).

2.6.9 Umidade

A umidade nas edificações está sempre associada à infiltração de fluidos nas estruturas. (Verçoza, 1991). Ocorre com a penetração de águas, agressivas ou

não, em peças estruturais, através de fissuras, ninhos de concretagem, juntas de concretagem mal executadas ou devido à alta porosidade do concreto.

2.7 METODOLOGIA DE ANÁLISE DE MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS DO CONCRETO ARMADO - MÉTODO LICHTENSTEIN

Lichtenstein (1986) no Boletim Técnico 06/86 intitulado “Patologia das construções: procedimento para diagnóstico e recuperação”, propôs um método de análise de manifestações patológicas de construção conhecido como método Lichtenstein. A estrutura do método genérico é formada por três partes distintas, sendo elas:

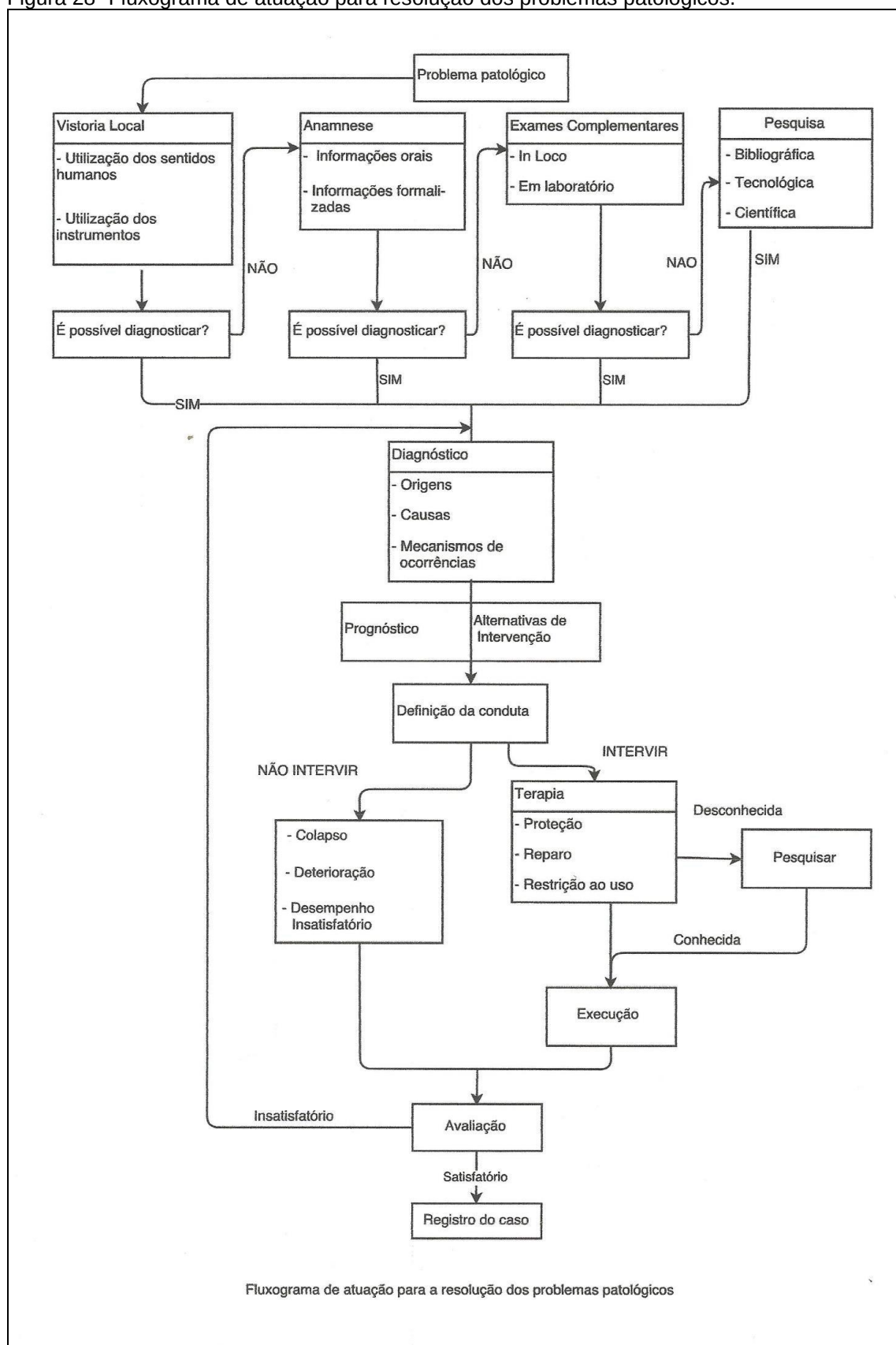
Parte 1 – Levantamento de Subsídios: Acumular e organizar as informações necessárias e suficientes para entendimento completo dos fenômenos. Fontes básicas: a história do local, o levantamento da história do problema e do edifício por anamnese e o resultado de análises e ensaios complementares. Por limitações técnicas neste estudo não serão utilizados ensaios complementares.

Parte 2 – Diagnóstico da Situação e Prognóstico: Diagnóstico é o entendimento dos fenômenos em termos da identificação das múltiplas relações de causa e efeito que normalmente caracterizam problema patológico. Prognóstico é o levantamento de alternativas de intervenção para solucionar o problema patológico.

Parte 3 – Definição de conduta: É a prescrição de trabalhos a serem executados para resolver o problema, nisto incluindo-se a definição sobre os meios e previsão das consequências em termos do desempenho final.

Na figura 28 é possível ver o fluxograma de atuação para resolução dos problemas patológicos referente a metodologia apresentada.

Figura 28- Fluxograma de atuação para resolução dos problemas patológicos.



Fonte: Lichtenstein (1986).

3 METODOLOGIA

A metodologia utilizada para realizar o estudo sobre as manifestações patológicas de reservatórios de concreto armado do Sistema de Abastecimento de Água de Goiânia-GO está dividida em três etapas.

3.1 PESQUISA BIBLIOGRÁFICA

Pesquisa em livros, sites e periódicos para construir o embasamento teórico referente às manifestações patológicas em Reservatórios de Concreto armado.

3.2 SELEÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DO OBJETO DE ESTUDO

Foi realizada uma avaliação prévia para selecionar dentre os reservatórios existentes aqueles indicados para realização da análise das manifestações patológicas em 5 reservatórios de concreto do Sistema de Abastecimento de Água de Goiânia - GO.

Nessa avaliação prévia foram verificados os seguintes critérios:

- Idade do Reservatório: superior a 40 anos
- Porte do Reservatório: acima de 2000 m³
- Registro de problemas relacionados às manifestações patológicas.
- Proximidade entre os reservatórios para conseguir realizar o máximo de vistoria no menor período de tempo.

A partir desses critérios foram selecionados os reservatórios conforme figura 29 quadro de dados dos reservatórios selecionados.

Figura 29 - Quadro de dados dos reservatórios selecionados.

SISTEMA	ID	NOME DA UNIDADE	TIPO	MATERIAL	VOLUME (m ³)	COORDENADAS GEOGRÁFICAS	ENDEREÇO	ANO DE CONSTRUÇÃO	MANUTENÇÃO REALIZADA NO ÚLTIMO ANO
João Leite	R01	ETA Jaime Câmara	Enterrado	Concreto	2250	16°39'7"S e 49° e14' 46"W	Av Vereador José Monteiro, nº 1953, área, Setor Negrão de Lima	1977	Interditado para manutenção
João Leite	R02	ETA Jaime Câmara	Semi-enterrado	Concreto	5000	16°39'8"S e 49° e14' 44"W	Av Vereador José Monteiro, nº 1953, área, Setor Negrão de Lima	1967	Não
João Leite	R03	Senac	Semi-enterrado	Concreto	5000	16°40'30"S e 49° e14' 15"W	Av Universitária com Rua 256, área, Setor Universitário	1975	Sim
João Leite	R04	Senac	Semi-enterrado	Concreto	5000	16°40'31"S e 49° e14' 18"W	Av Universitária com Rua 256, área, Setor Universitário	1975	Sim
João Leite	R05	Celg	Semi-enterrado	Concreto	5000	16°41'14"S e 49° e14' 3"W	Rua 117 com Rua 252, qd A37/A38, It 04, Jd Goiás	-	Sim

Fonte: Autora, 2023.

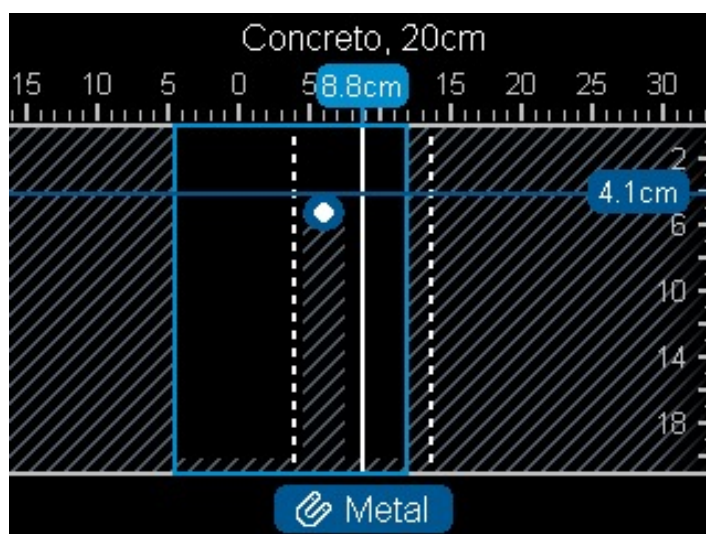
3.3 MÉTODO DE LICHENSTEIN

Para realização da análise das manifestações patológicas nos cinco reservatórios de concreto do Sistema de Abastecimento de Água de Goiânia – GO selecionados foi aplicado o método Lichtenstein nas fases 1 e 2 (1º– Levantamento de Subsídios e 2º - Diagnóstico da Situação e Prognóstico) a 3ª fase que é “Definição de conduta” não foi aplicada, pois excede o âmbito dessa pesquisa cabendo a empresa responsável pelos reservatórios, Saneago, tomar as decisões sobre intervenção ou não nos reservatórios.

3.4 ESCANEAMENTO DA PAREDE

No momento da vistoria foi realizado o escaneamento das paredes do reservatório. Trata-se de um ensaio não destrutivo realizado com o auxílio do equipamento “D-TECT 200 C PROFESSIONAL, Bosch®” para identificação do local das armaduras e a espessura do cobrimento, conforme figura 30.

Figura 30 – A esquerda imagem do equipamento D-TECT 200 C PROFESSIONAL, Bosch® e a direita imagem extraída durante a medição realizada durante a visita em 18/10/2023.



Fonte: Bosh (2023).

4 RESULTADOS

4.1 Vistoria e Diagnóstico

A vistoria ocorreu no dia 18/10/2023. O objetivo da vistoria foi avaliar as condições estruturais dos elementos estruturais dos Reservatórios Apoiados RA01, RA02, RA03, RA04 e RA05. Foi realizada a inspeção visual das paredes internas do reservatório enterrado RA01 e inspeção visual das paredes externas nos 4 reservatórios semi-enterrados RA02, RA03, RA04 e RA05. Também foi realizado com o auxílio do equipamento “D-TECT 200 C PROFESSIONAL, Bosch®”. o escaneamento das paredes para identificação do local das armaduras e a espessura do cobrimento.

Para obtenção dos dados da anamnese, no momento da vistoria estava presente a responsável pelos reservatórios que foi questionada sobre histórico dos reservatórios, manutenções preventivas e intervenções de emergência.

A Saneago não tem um programa de manutenção preventiva e nem preditiva nos reservatórios que visem a durabilidade e manutenção da vida útil das estruturas, de forma que as intervenções realizadas são corretivas que atuam somente para sanar as manifestações patológicas existentes e não tratando na origem. Nos projetos e no programa de impermeabilização da Saneago está sendo estudado para que sejam feitas melhorias no sentido de manter a vida útil para quais foram projetadas.

4.1.1 Reservatório Enterrado ETA Jaime Câmara – RA01

O Reservatório RA01, é um reservatório enterrado que foi construído em 1977, ver figuras 31 a 33, a cobertura é composta por estrutura em madeira e telhas em fibrocimento. Em 2019 essa estrutura passou por reparos e em setembro de 2023 o reservatório foi interditado e esvaziado para novos reparos. Como pode ser verificado na figura 32 as telhas cederam e originou uma abertura no telhado.

Figura 31– RA01 - Reservatório enterrado ETA Jaime Câmara, Saneago.



Fonte: satélite view,google maps (2023).

Figura 32 – Vista exeterna geral do RA01.



Fonte: Autoria própria (2023).

Figura 33 – Vista interna geral do RA01.



Fonte: Autoria própria (2023).

4.1.1.1 Paredes

Por estar interditado foi possível realizar a vistoria internamente para avaliar a existência de possíveis manifestações patológicas.

Foi realizado o escaneamento das paredes conforme indicado nas figuras 35 e 36 e foi identificado que o cobrimento nos valores de 2,7 cm e 3,4cm. Considerando, que à época da construção estava vigente era ABNT NB-1 de 1960 e que determinava um cobrimento mínimo de 2cm para peças em contato com o solo e mais 5 cm de uma camada de concreto simples (ver figura 34), e considerando que após essa camada ainda existe a camada do revestimento, esse valor detectado na medição indica que, a armadura não tem a proteção mínima exigida.

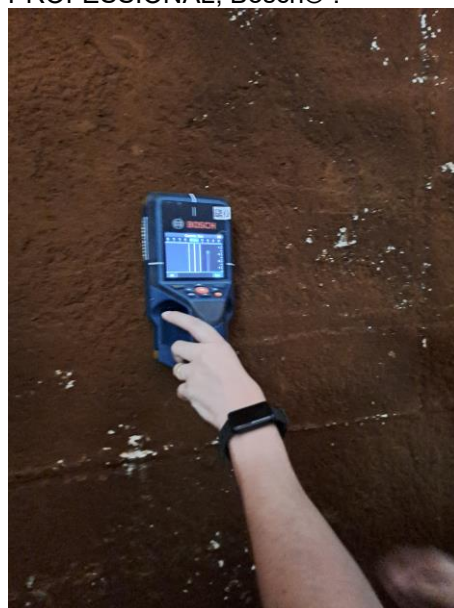
O cobrimento deficiente deixa a peça estrutural mais suscetível à penetração de agente agressivos que podem atacar armaduras e dar início ao processo corrosivo.

Figura 34 – Imagem extraída da ABNT NB-1 DE 1960 - Cálculo e execução de obras de concreto armado. Capítulo IV – Disposições Construtivas item C – Proteção da Armadura.

C — PROTEÇÃO DA ARMADURA	
Cobrimento	
41. Todas as barras da armadura, principal ou não, devem ter cobrimento de concreto nunca menor que:	
em lajes e paredes no interior de edifícios	1 cm
em lajes e paredes ao ar livre	1,5 cm
em vigas, pilares e arcos no interior de edifícios	1,5 cm
em vigas, pilares e arcos ao ar livre ..	2 cm
em peças em contato com o solo	2 cm
Neste último caso exige-se, junto à armadura calculada para resistir a esforços de tração, se o solo não for rochoso, a interposição de uma camada de concreto simples, não computada no cálculo, com espessura mínima de 5 cm.	
Em lajes no interior de edifícios, permite-se que 0,5 cm do cobrimento exigido seja feito com embôço.	
Medidas especiais	
42. Medidas especiais de proteção devem ser tomadas sempre que elementos da estrutura se achem expostos à ação prejudicial de agentes externos, tais como ácidos, álcalis, águas agressivas, óleo e gases nocivos, altas e baixas temperaturas.	
Os coeficientes de segurança deverão nesses casos ser multiplicados por 1,2 (ou as tensões admissíveis reduzidas na mesma proporção, se se fizer o cálculo pelo estágio II).	

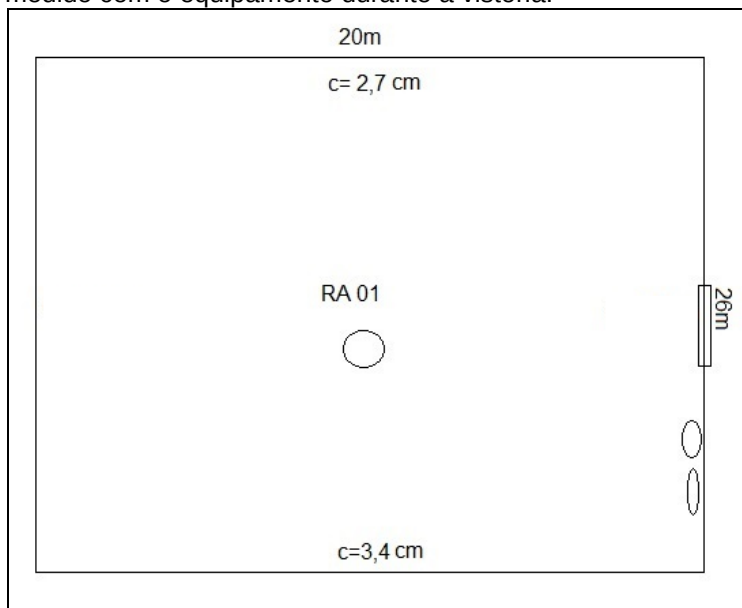
Fonte: Carneiro *apud* Thomas, Acesso em 02/11/2023.

Figura 35 – Escaneamento da parede para identificação do cobrimento parede RA01 utilizando o scanner de parede “D-TECT 200 C PROFESSIONAL, Bosch®”.



Fonte: Autoria própria (2023).

Figura 36 – Croqui do Reservatório enterrado ETA Jaime Câmara, Saneago. O cobrimento apontado no croqui foi ,o medido com o equipamento durante a vistoria.



Fonte: Autoria própria (2023).

Foi verificado que existe um problema de vedação nas entradas de água, pois mesmo o RA 01 estando interditado foi possível identificar água dentro do reservatório proveniente das duas entradas de água, conforme figura 37.

Figura 37 – Vista interna geral do RA01, identificando as entradas e saída de água.



Fonte: Autoria própria (2023).

Foi constatado presença de umidade na parede do reservatório que está ligada à parede de outro reservatório enterrado figuras 38 a 42. A presença de

umidade indica que a água proveniente do reservatório contíguo a este tem penetrado pela parede dos reservatórios por meio de pequenas fissuras ou ninhos de concretagem o que indica que a impermeabilização está ineficiente.

Figura 38 – Marcas de umidade na parede RA01 que fica ao lado do outro reservatório enterrado que não foi analisado.



Fonte: Autoria própria (2023).

Figura 39 – Marca de umidade na parede RA01.



Fonte: Autoria própria (2023).

Figura 40 – Marca de umidade na parede RA01.



Fonte: Autoria própria (2023).

Figura 41 – Marca de umidade na parede RA01.



Fonte: Autoria própria (2023).

Figura 42 – Marca de umidade na parede RA01.



Fonte: Autoria própria (2023).

Foi detectada a existência de erosão nas entradas de água conforme figuras 43 e 44. Esse desgaste é gerado pela ação abrasiva da força da entrada da água que arrasta o cobrimento do concreto.

Figura 43 – Erosão na primeira entrada de água do RA01.



Fonte: Autoria própria (2023).

Figura 44 – Erosão na segunda entrada de água do RA01.



Fonte: Autoria própria (2023).

4.1.1.2 Laje inferior

Foi detectada a existência de erosão na saída de água do reservatório figura 45. Esse desgaste é gerado pela ação abrasiva da força da água, contendo por vezes partículas sólidas que arrastam o cobrimento do concreto.

Figura 45 – Erosão na saída de água do RA01.



Fonte: Autoria própria (2023).

Na figura 46, tem-se o quadro resumo das manifestações patológicas detectada no RA01.

Figura 46 – Quadro de dados das manifestações patológicas presentes no RA01.

Elemento	Manifestação Patológica	Origem	Causa	Mecanismo de ocorrência
Parede do Reservatório	Cobrimento deficiente	Pode ser falha no projeto ou carbonatação	Cobrimento de 2,7cm e 3,4cm	
Parede do Reservatório	Presença de água com reservatório vazio	entradas de água	vedação ineficiente da entrada de água	Como a vedação não está sendo eficiente a água passa pelas frestas.
Parede do Reservatório	Umidade	água proveniente do reservatório enterrado contíguo a este.	Impermeabilização ineficiente	A água penetra pela parede dos reservatórios por meio de pequenas fissuras ou ninhos de concretagem
Parede do Reservatório	erosão	A força de abrasão da água		É o desgaste pela ação abrasiva da força da entrada da água que arrasta o cobrimento do concreto.
Laje Inferior	erosão	A força de abrasão da água e das partículas sólidas		É o desgaste pela ação abrasiva da força da água, contendo por vezes partículas sólidas que arrasta o cobrimento do concreto.

Fonte: Autora (2023).

4.1.2 Reservatório Semi-enterrado ETA Jaime Câmara – RA02

O Reservatório RA 02 é do tipo semi-enterrado e foi construído em 1967 conforme figuras 47 e 48 não existindo histórico acessível de manutenção realizada para tratamento de manifestações patológicas, foi identificado durante a vistoria que intervenções foram realizadas para tratar fissuras.

Figura 47 – Reservatório semi-enterrado ETA Jaime Câmara, Saneago.



Fonte: satélite view, google maps (2023).

Figura 48 – Vista externa geral do RA02.



Fonte: Autoria própria (2023). ¹

4.1.2.1 Paredes

Foi realizado o escaneamento da parede conforme figura 49 e 50, foi identificado que a cobertura no valor de 4,5cm e 6,0 cm. Considerando que à época da construção estava vigente era ABNT NB-1 DE 1960 e que determinava uma cobertura mínimo de 2cm para peças em contato com o solo e mais 5cm de uma camada de concreto simples e considerando que após essa camada ainda

¹ RA-01 e RA-02 possuem as mesmas coordenadas pois estão no mesmo local o endereço aparece diferente na descrição da fonte somente por questões de nomenclatura na plataforma do google.

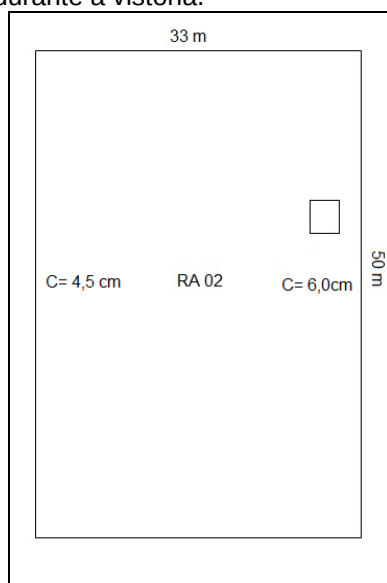
existe a camada do revestimento, esse valor detectado na medição indica que a armadura tem a proteção mínima exigida à época. Considerando os parâmetros atuais de 5 cm pode-se considerar que parte da armadura não tem o cobrimento mínimo necessário.

Figura 49 – Escaneamento da parede para identificação do cobrimento parede RA02 utilizando o scanner de parede “D-TECT 200 C PROFESSIONAL, Bosch®”.



Fonte: Autoria própria (2023).

Figura 50 – Croqui do Reservatório semi-enterrado ETA Jaime Câmara, Saneago. O cobrimento apontado no croqui foi o medido com o equipamento durante a vistoria.



Fonte: Autoria própria (2023).

Quanto ao revestimento foi identificado a presença de plantas que podem comprometer a estrutura além de fissuras em vários pontos, figuras 51 e 52. As fissuras e deslocamento podem ser atribuídas à dilatação passível do concreto em seu estado endurecido decorrente do gradiente de temperatura.

A presença das plantas pode aumentar o aparecimento de fissuras uma vez que suas raízes provocam fissuras no revestimento e no concreto.

Figura 51– A esquerda revestimento com fissura, deslocamento e presença de plantas, a direita detalhamento da fissura.



Fonte: Autoria própria (2023).

Figura 52 – Revestimento com fissura.



Fonte: Autoria própria (2023).

Foi localizado um deslocamento do revestimento e do concreto no local da conexão com a tubulação no local onde foi realizada a medição da camada de cobrimento, como pode ser visto na figura 53.

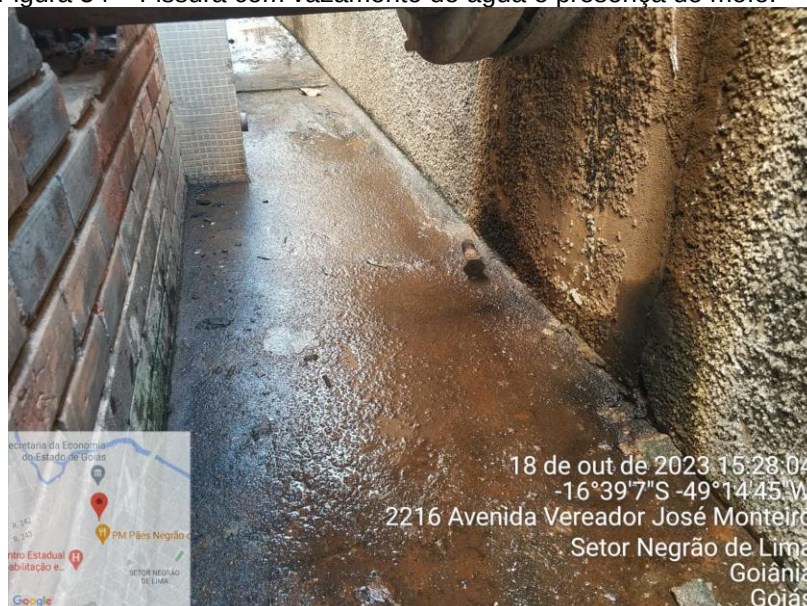
Figura 53 – Desplacamento do revestimento e do concreto no local da conexão com a tubulação.



Fonte: Autoria própria (2023).

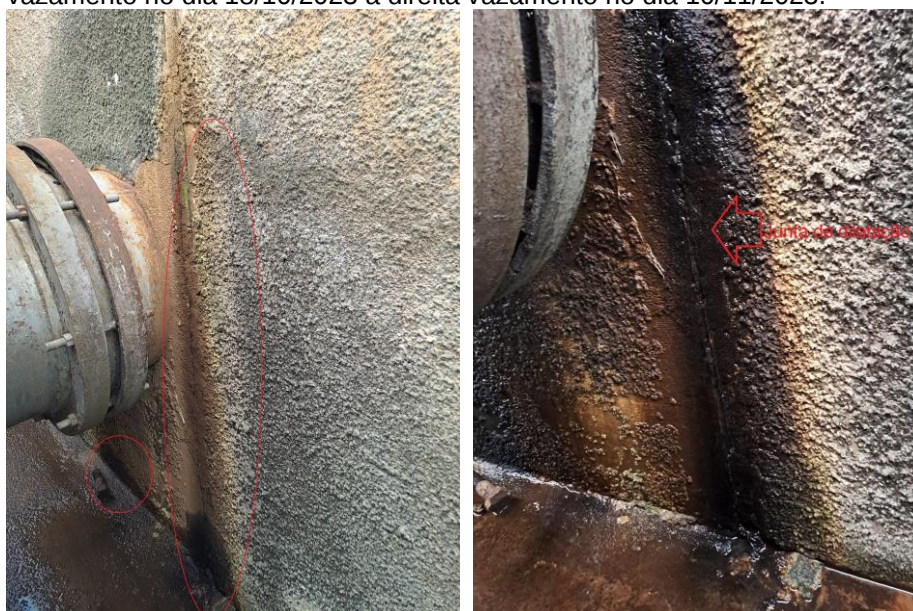
Próxima a essa mesma tubulação foi identificado uma fissura com vazamento e presença de mofo, ver figuras 54 e 55. O vazamento está no mesmo local da junta de dilatação inferindo-se que com a perda da elasticidade do material que compõe a junta de dilatação, as tensões do concreto na região deram origem à fissura e ao vazamento de água. Em decorrência do vazamento de água o ambiente se tornou propício para proliferação do musgo e do mofo.

Figura 54 – Fissura com vazamento de água e presença de mofo.



Fonte: Autoria própria (2023).

Figura 55 – Fissuras com vazamento de água e presença de mofo. À esquerda vazamento no dia 18/10/2023 a direita vazamento no dia 10/11/2023.



Fonte: Autoria própria (2023).

4.1.2.2 Laje superior

Foram identificadas fissuras na laje em vários pontos incluindo locais onde haviam recebido tratamento anterior, ver figuras 56 e 57. A figura 56 mostra danos na junta de dilatação, quando o material que compõe a junta de dilatação perdeu sua elasticidade as tensões nas lajes e paredes adjacentes à junta deram origem as

fissuras e rachaduras. Pela figura 57 percebe-se que já foram realizadas manutenções, no entanto as fissuras persistem além do local em que foi realizada a intervenção.

Figura 56 – Fissura na laje na junta de dilatação



Fonte: Autoria própria (2023).

Figura 57 – Fissura na laje, em locais onde já foi realizada intervenção.



Fonte: Autoria própria (2023).

Além dos pontos de adjacências da junta de dilatação foram encontradas fissuras em diversos pontos na parte externa da laje superior conforme figuras 58 e 59. Essas fissuras podem ter sido provocadas pelo gradiente térmico devido a dilatação passível ao concreto em seu estado endurecido.

Figura 58 – Fissura na laje.



Fonte: Autoria própria (2023).

Figura 59 – Fissura na laje.



Fonte: Autoria própria (2023).

A face interna da laje apresenta deslocamento do concreto, com exposição e corrosão das armaduras. Dentro do reservatório em pleno funcionamento a água armazenada libera íons cloreto no ambiente criando uma camada de gasosa que fica em constante contato com a face interna do reservatório ocorrendo a contaminação dos poros do concreto por cloretos.

Somando a contaminação por cloretos com o cobrimento deficiente para o nível de agressividade apresentada inicia-se o processo de corrosão das armaduras,

que além do comprometimento da armadura também provoca fissuras e o deslocamento do concreto, conforme figuras 60 a 62.

Figura 60 – Abertura na laje, com deslocamento do concreto e exposição da armadura



Fonte: Autoria própria (2023).

Figura 61 – vista interna da laje, com deslocamento do concreto e exposição e corrosão da armadura.



Fonte: Autoria própria (2023).

Figura 62 – vista interna da laje, com deslocamento do concreto e exposição e corrosão da armadura.



Fonte: Autoria própria (2023).

Na figura 63, tem-se o quadro resumo das manifestações patológicas detectada no RA02.

Figura 63 – Quadro de dados das manifestações patológicas presentes no RA02

Elemento	Manifestação Patológica	Origem	Causa	Mecanismo de ocorrência
Parede do Reservatório	Cobrimento deficiente	Pode ser falha no projeto ou carbonatação	cobrimento no valor de 4,5cm e 6,0 cm	
Parede do Reservatório	fissuras e deslocamento do revestimento	Alterações de temperatura durante o dia e a noite	Gradiente térmico	Podem ocorrer de duas principais formas de degradação das estruturas devido a fatores térmicos: a retração ocorrida no concreto em estado fresco e a dilatação passível ao concreto em seu estado endurecido
Parede do Reservatório	fissura com vazamento	Material de preenchimento da junta perdeu a elasticidade, de forma que com o aparecimento da fissura a água de dentro do reservatório começou a sair.	Obstrução da junta de dilatação	Possivelmente a junta perdeu sua elasticidade produzindo tensões que deram origem a fissura e ao vazamento de água.
Parede do Reservatório	Presença de musgo e mofo	Presença de água vertendo no concreto	vazamento de água	de fungos vegetais que necessitam de ar e água para suas proliferações nas superfícies das partes das edificações que se encontram constantemente umedecidas e que tornam os ambientes propícios ao

				desenvolvimento destes);
Laje Superior	fissuras	Alterações de temperatura durante o dia e a noite	Gradiente térmico	degradação das estruturas devido a dilatação passível ao concreto em seu estado endurecido
Laje Superior	deslocamento do concreto	Ocorrência de lascas ou escamas que se destacam do concreto	ocorre devido a um ou mais fatores: choques, movimentações térmicas, pressão ou expansão das armaduras no interior do concreto (corrosão).	
Laje Superior	corrosão das armaduras	Ocorre pela contaminação por cloretos	Além dos danos ao concreto e da redução da capacidade de resistência da armadura, provoca a perda das armaduras, provocando a aderência entre o aço e o concreto, e as tensões de tração (de até 15 MPa). Essas tensões ocasionam a fissuração da armadura e o posterior deslocamento do cobrimento do concreto (Cánovas, 1988).	A corrosão é um processo físico-químico gerador de óxidos e hidróxidos de ferro, produtos que ocupam um volume significativamente superior (em até 6 vezes) ao volume corroído das armaduras, provocando a perda das armaduras, provocando a aderência entre o aço e o concreto, e as tensões de tração (de até 15 MPa). Essas tensões ocasionam a fissuração da armadura e o posterior deslocamento do cobrimento do concreto (Cánovas, 1988).

Fonte: Autora (2023).

4.1.3 Reservatório Semi-enterrado Senac – RA03

O Reservatório RA 03 é do tipo semi-enterrado e foi construído em 1975 (ver figuras 64 a 66) e passou por uma manutenção recente realizada em setembro de 2023 para tratamento de manifestações patológicas, foi identificado durante a vistoria que as intervenções foram realizadas para tratar fissuras, ver figura 67.

Figura 64– RA 03 Reservatório semi-enterrado Senac, Saneago.



Fonte: satélite view, google maps (2023).

Figura 65 – Vista externa geral do RA 03 Reservatório semi-enterrado Senac, Saneago



Fonte: Autoria própria (2023).

Figura 66 –Vista externa geral do RA 03 Reservatório semi-enterrado Senac, Saneago.



Fonte: Autoria própria (2023).

Figura 67 – Marca de reparo de fissuras.



Fonte: Autoria própria (2023).

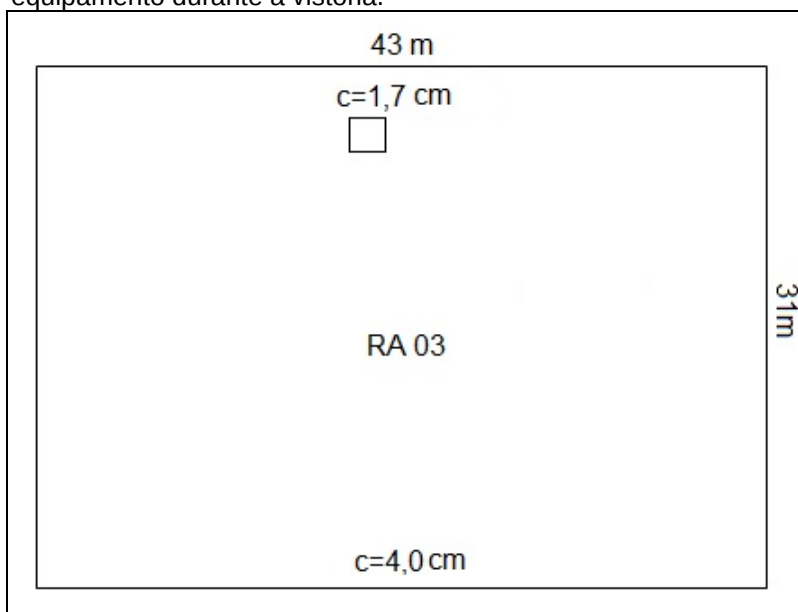
4.1.3.1 Paredes

Foi realizado o escaneamento da parede conforme figura 68 e 69, foi identificado que há cobertura no valor de 1,7 cm e 4,0 cm. Vale ressaltar que a medição de 1,7 foi realizada no local onde está com deslocamento do revestimento sendo essa medida a distância direta a camada de concreto até o sensor.

Considerando que à época da construção estava vigente era ABNT NB-1 DE 1960 e que determinava uma cobertura mínima de 2cm para peças em contato com o solo e mais 5cm de uma camada de concreto simples. E considerando que

após essa camada ainda existe a camada do revestimento para o caso de 4,0 cm, esse valor detectado na medição indica que a armadura não tem a proteção mínima exigida por ter cobrimento deficiente.

Figura 68 – Croqui do RA 03 Reservatório semi-enterrado Senac, Saneago. O cobrimento apontado no croqui foi o medido com o equipamento durante a vistoria.



Fonte: Autoria própria (2023).

Figura 69 – Escaneamento da parede para identificação do cobrimento parede RA04 utilizando o scanner de parede “D-TECT 200 C PROFESSIONAL, Bosch®”.



Fonte: Autoria própria (2023).

Foi identificado um ponto com deslocamento do revestimento com exposição e corrosão da armadura, figuras 70 a 75. O cobrimento deficiente que expõe às armaduras ao início do processo corrosivo somado ao gradiente de temperatura ocasionou os processos de corrosão das armaduras e deslocamento do concreto, além das várias fissuras que haviam passado processo de correção recente.

Figura 70 –Desplacamento do revestimento com exposição e corrosão da armadura.



Fonte: Autoria própria (2023).

Figura 71 – Detalhe do Desplacamento do revestimento com exposição e corrosão da armadura.



Fonte: Autoria própria (2023).

Figura 72 – Detalhe do Desplacamento do revestimento com exposição do concreto.



Fonte: Autoria própria (2023).

Figura 73 –,Desplacamento do revestimento com exposição do concreto.



Fonte: Autoria própria (2023).

Figura 74 –Desplacamento do revestimento com exposição e corrosão da armadura.



Fonte: Autoria própria (2023).

Figura 75 –Desplacamento do revestimento com exposição do concreto.



Fonte: Autoria própria (2023).

4.1.3.2 Laje superior

Da mesma forma que no reservatório RA02, só que em estágio mais avançado, a face interna da laje do reservatório RA03 apresenta deslocamento do concreto, com exposição e corrosão das armaduras resultado do ataque de cloretos, ver figura 76.

Figura 76 – Vista interna da laje, com deslocamento do concreto e exposição e corrosão da armadura.



Fonte: Autoria própria (2023).

Na face externa da laje superior foram identificadas fissuras em vários pontos incluindo locais sendo adjacentes às juntas de dilatação ou não. Diante do grau de corrosão das armaduras da face interna é possível inferir que essas fissuras além de terem origem no gradiente térmico também são ocasionadas pela tensão provocada pela corrosão das armaduras, ver figura 77.

Figura 77 – Fissura na laje.



Fonte: Autoria própria (2023).

Na figura 78, tem-se o quadro resumo das manifestações patológicas detectada no RA03.

Figura 78 – Quadro de dados das manifestações patológicas presentes no RA03

Elemento	Manifestação Patológica	Origem	Causa	Mecanismo de ocorrência
Parede do Reservatório	Cobrimento deficiente	Pode ser falha no projeto ou carbonatação	Cobrimento de 1,7cm e 4,0cm	
Parede do Reservatório	deslocamento do concreto	Ocorrência de lascas ou escamamento das concretagens	Ocorre devido a um ou mais fatores: choques, movimentações térmicas, pressão ou expansão das armaduras no interior do concreto (corrosão).	
Parede do Reservatório	corrosão das armaduras	Ocorre pela contaminação por cloretos	Além dos danos ao concreto e da redução da capacidade resistente da armadura, a corrosão provoca a perda de aderência entre o aço e o concreto, e reduz a ductilidade da armadura.	A corrosão é um processo físico-químico gerador de óxidos e hidróxidos de ferro, produtos que ocupam um volume significativamente superior (em até 6 vezes) ao volume corroído das armaduras, provocando no concreto elevadas tensões de tração (de até 15 MPa). Essas tensões ocasionam a fissuração e o posterior deslocamento do cobrimento do concreto (Cánovas, 1988).
Laje Superior	deslocamento do concreto	Ocorrência de lascas ou escamamento das concretagens	Ocorre devido a um ou mais fatores: choques, movimentações térmicas, pressão ou expansão das armaduras no interior do concreto (corrosão).	
Laje Superior	corrosão das armaduras	Ocorre pela contaminação por cloretos	Além dos danos ao concreto e da redução da capacidade resistente da armadura, a corrosão provoca a perda de aderência entre o aço e o concreto, e reduz a ductilidade da armadura.	A corrosão é um processo físico-químico gerador de óxidos e hidróxidos de ferro, produtos que ocupam um volume significativamente superior (em até 6 vezes) ao volume corroído das armaduras, provocando no concreto elevadas tensões de tração (de até 15 MPa). Essas tensões ocasionam a

				fissuração e o posterior deslocamento do cobrimento do concreto (Cánovas, 1988).
--	--	--	--	--

Fonte: Autora (2023).

4.1.4 Reservatório Semi-enterrado Senac – RA04

Assim como o Reservatório RA 03 o R04 é do tipo semi-enterrado (ver figuras 79 a 82), e foi construído em 1975 e passou por uma manutenção recente realizada em setembro de 2023 para tratamento de manifestações patológicas, foi identificado durante a vistoria que as intervenções foram realizadas para tratar fissuras, ver figura 83.

Figura 79 –RA 04 Reservatório semi-enterrado Senac, Saneago.



Fonte: satélite view, google maps (2023).

Figura 80 – Vista externa geral do RA 04 Reservatório semi-enterrado Senac, Saneago.



Fonte: Autoria própria (2023).

Figura 81 – Vista externa geral do RA 04 Reservatório semi-enterrado Senac, Saneago.



Fonte: Autoria própria (2023).

Figura 82 – Vista externa geral do RA 04 Reservatório semi-enterrado Senac, Saneago.



Fonte: Autoria própria (2023).

Figura 83– Marca de reparo de fissuras.



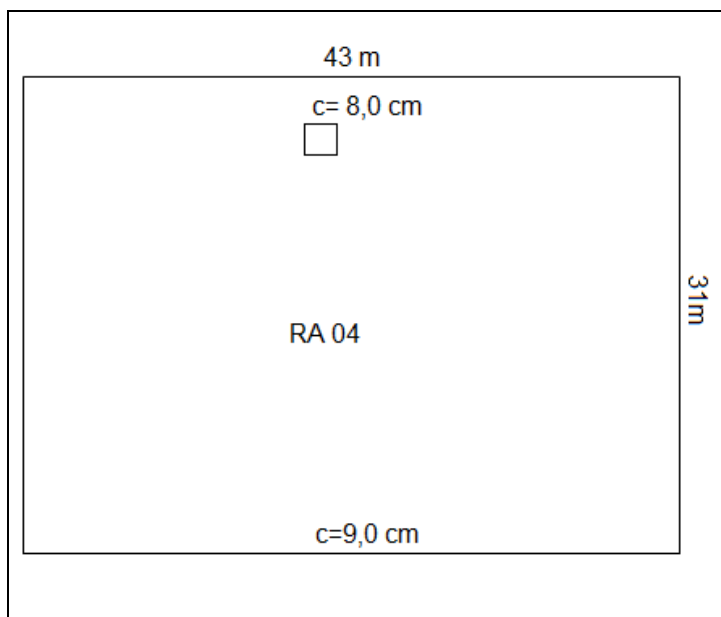
Fonte: Autoria própria (2023).

4.1.4.1 Paredes

Foi realizado o escaneamento da parede conforme figura 84, foi identificado o cobrimento no valor de 8,0 cm e 9,0 cm. Considerando que à época da construção estava vigente era ABNT NB-1 DE 1960 e que determinava um cobrimento mínimo de 2cm para peças em contato com o solo e mais 5cm de uma camada de concreto simples, e considerando que após essa camada ainda existe a camada do revestimento, esse valor detectado na medição indica que a armadura ainda

preserva a proteção mínima exigida a época sendo ainda deficiente em relação ao cobrimento estabelecido pela NBR 6118:2023 de 10cm.

Figura 84 – Croqui do RA 04 Reservatório semi-enterrado Senac, Saneago. O cobrimento apontado no croqui foi o medido com o equipamento durante a vistoria.



Fonte: Autoria própria (2023).

Foi identificado um ponto com deslocamento do revestimento com exposição e corrosão da armadura, ver figuras 85 a 87. Da mesma forma que no reservatório RA03 considera-se que o cobrimento deficiente que expõe às armaduras ao início do processo corrosivo somado ao gradiente de temperatura ocasionou os processos de corrosão das armaduras e deslocamento do concreto, além das várias fissuras que haviam passado processo de correção recente.

Figura 85 – Desplacamento do revestimento com exposição e corrosão da armadura. A esquerda visão geral e a direita detalhamento.



Fonte: Autoria própria (2023).

Figura 86 – Desplacamento do revestimento e do concreto com exposição e corrosão da armadura.



Fonte: Autoria própria (2023).

Figura 87 – Detalhe do deslocamento do revestimento e do concreto com exposição e corrosão da armadura.



Fonte: Autoria própria (2023).

Foi identificado presença de mancha de mofo no revestimento, ver figura 88. Pelo tipo de mancha pode-se inferir que a umidade necessária para a proliferação do mofo é proveniente da percolação de água de chuva e não de vazamentos na parede do reservatório.

Figura 88 – Presença de mofo.



Fonte: Autoria própria (2023).

4.1.4.2 Laje superior

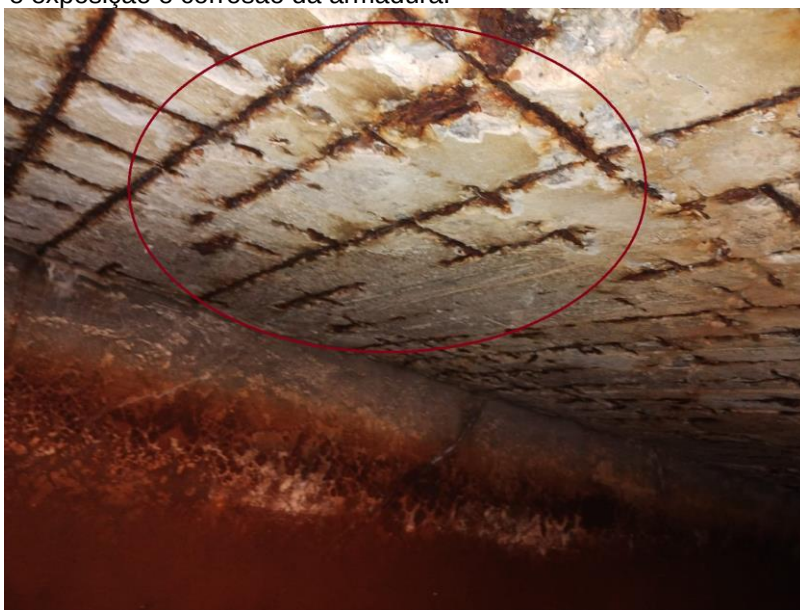
A face interna da laje apresenta deslocamento do concreto, com exposição e corrosão das armaduras sendo o pior estágio de deterioração encontrado durante a visita. De forma análoga às inferências feitas no RA02 e RA03 essa situação é decorrente do cobrimento deficiente somado ao ataque por cloretos presentes no interior do reservatório, ver figura 89 e 90.

Figura 89 – Abertura na laje, com deslocamento do concreto e exposição da armadura.



Fonte: Autoria própria (2023).

Figura 90 – Vista interna da laje, com deslocamento do concreto e exposição e corrosão da armadura.



Fonte: Autoria própria (2023).

Na face externa da laje foram identificadas fissuras em vários pontos, ver figuras 91 e 92. Também pode-se inferir de forma análoga ao RA03 que a situação além de ser decorrência do gradiente de temperatura também reflete o estágio de degradação da face interna da laje.

Figura 91 – Vista externa da laje de cobertura, com presença de fissuras.



Fonte: Autoria própria (2023).

Figura 92 – Vista externa da laje de cobertura, com presença de fissuras.



Fonte: Autoria própria (2023).

Na figura 93, tem-se o quadro resumo das manifestações patológicas detectada no RA04.

Figura 93 – Quadro de dados das manifestações patológicas presentes no RA04

Elemento	Manifestação Patologica	Origem	Causa	Mecanismo de ocorrência
Parede do Reservatório	desplacamento do concreto	Ocorrência de lascas e escamas que destacam concreto	de ocorre devido a um ou mais fatores: se choques, do movimentos térmicas, pressão ou expansão das armaduras no interior do concreto (corrosão).	
Parede do Reservatório	corrosão das armaduras	Ocorre pela contaminação por cloretos	Além dos danos ao concreto e da redução da capacidade resistente da armadura, a corrosão provoca a perda de aderência superior (em até 6 vezes) ao volume do concreto, e reduz a ductilidade da armadura.	A corrosão é um processo físico-químico gerador de óxidos e hidróxidos de ferro, produtos que ocupam um volume significativamente maior (até 6 vezes) ao volume do concreto, e reduz a ductilidade das armaduras, provocando no concreto elevadas tensões de tração (de até 15 MPa). Essas tensões ocasionam a fissuração e o posterior deslocamento do concreto (Cánovas, 1988).

Parede do Reservatório	Presença de mancha de mofo	de Água de chuva percolando sobre o concreto	fungos vegetais que necessitam de ar e água para suas proliferações nas superfícies das partes das edificações que se encontram constantemente umedecidas e que tornam os ambientes propícios ao desenvolvimento destes);	
Laje Superior	desplacamento do concreto	Ocorrência de lascas escamas que destacam concreto	de ocorre devido a um ou mais fatores: choques, movimentações térmicas, pressão ou expansão das armaduras no interior do concreto (corrosão).	
Laje Superior	corrosão das armaduras	Ocorre pela contaminação por cloretos	Além dos danos ao concreto e redução da capacidade resistente da armadura, a corrosão provoca a perda de aderência superior (em até 6 vezes) ao volume do concreto, e reduz a ductilidade da armadura.	A corrosão é um processo físico-químico gerador de óxidos e hidróxidos de ferro, produtos que ocupam um volume significativamente maior (até 6 vezes) ao volume do concreto, e elevadas tensões de tração (até 15 MPa). Essas tensões ocasionam a fissuração e o

				posterior desplacamento do cobrimento do concreto (Cánovas, 1988).
--	--	--	--	--

Fonte: Autora (2023).

4.1.5 Reservatório Semi-enterrado Celg – RA05

O Reservatório RA 05 é do tipo semi-enterrado conforme figuras 94 a 96 não foi possível afirmar se ele foi construído em 1967 ou 1977, mas a construção está entre esse período pois faz parte das obras de expansão do Sistema de Abastecimento de Goiânia realizado nessa época.

Existem marcas de uma manutenção para reparo de fissuras, no entanto não foram identificados registros de quando ocorreu.

Figura 94 – RA 05 Reservatório semi-enterrado Celg, Saneago.



Fonte: satélite view, google maps (2023).

Figura 95 – Vista externa geral do RA 05 Reservatório semi-enterrado Celg, Saneago.



Fonte: Autoria própria (2023).

Figura 96 – Vista externa geral do RA 05 Reservatório semi-enterrado Celg, Saneago



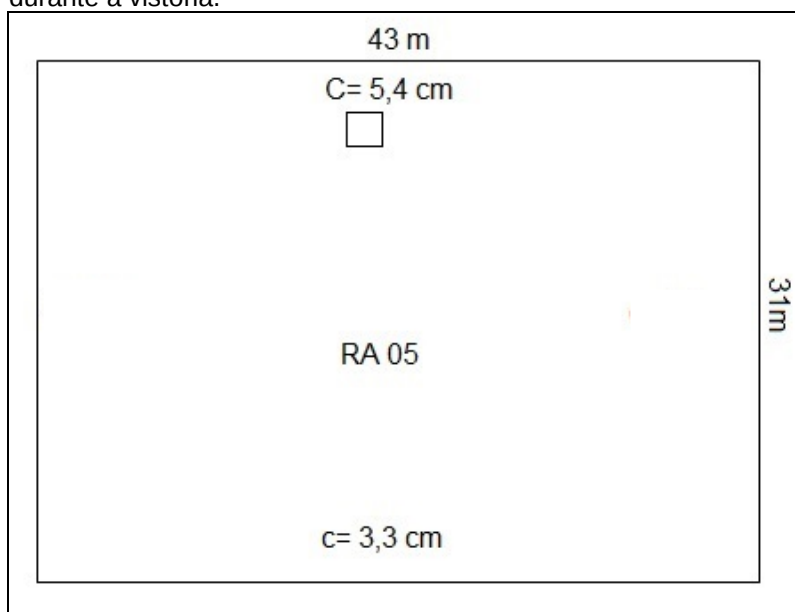
Fonte: Autoria própria (2023).

4.1.5.1 Paredes

Foi realizado o escaneamento da parede conforme figura 97, foi identificado que há o cobrimento no valor de 5,4 cm e 3,3 cm. Considerando que sendo construído em 1967 ou 1977 estava vigente a ABNT NB-1 DE 1960 que determinava um cobrimento mínimo de 2cm para peças em contato com o solo e mais 5cm de uma camada de concreto simples.

E considerando que após essa camada ainda existe a camada do revestimento, esse valor detectado na medição indica que a armadura ainda preserva a proteção mínima exigida sendo ainda deficiente em relação ao cobrimento estabelecido pela NBR 6118:2023 de 10cm.

Figura 97 – Croqui do RA 05 Reservatório semi-enterrado Celg. O cobrimento apontado no croqui foi o medido com o equipamento durante a vistoria.



Fonte: Autoria própria (2023).

Foi identificado presença de mofo no revestimento, ver figuras 98 e 99. Infere-se que a umidade proveniente do interior do reservatório está chegando a face externa e deixando o ambiente propício para proliferação dos fungos que provocam a mancha de bolor.

Figura 98 – Presença de mofo.



Fonte: Autoria própria (2023).

Figura 99 – Fissura com presença de mofo.



Fonte: Autoria própria (2023).

Foram identificados pontos de fissura do revestimento que já haviam sido tratados, com marcas de mofo e umidade ver figuras 100 e 101. Da mesma forma infere-se que as fissuras existentes estejam trazendo umidade do interior do reservatório para a face externa.

Figura 100 - Fissura do revestimento, com marcas de umidade.



Fonte: Autoria própria (2023).

Figura 101 – Fissura do revestimento.



Fonte: Autoria própria (2023).

Foram identificados pontos de eflorescência onde já foi tratada fissura, ver figuras 102 e 103. Possivelmente a fissura que persistiu carreando água de dentro para fora do reservatório proporcionou que os sais solúveis nos componentes da parede como tijolo, argamassa, concreto, fossem carregados até a superfície e ali, após a evaporação da água, ficassem depositados.

Figura 102 – Eflorescência onde já foi tratada fissura. A esquerda visão geral e a direita detalhamento.



Fonte: Autoria própria (2023).

Figura 103– Eflorescência onde já foi tratada fissura.



Fonte: Autoria própria (2023).

Dos reservatórios visitados este foi o que apresentou as paredes com maior comprometimento em relação a fissuras, vazamento, deslocamento do concreto e exposição da armadura. Conforme figuras 104 a 106. Duas rachaduras em estágio avançado fazem minar água de dentro do reservatório para fora, ver figuras 107 e 108.

Em situação análoga ao que foi discutido nos outros reservatórios essa situação pode ser inferida como causada por deficiência no cobrimento, gradiente de temperatura e corrosão das armaduras que promovem a fissuração e o deslocamento do concreto.

Figura 104 – Fissura do revestimento.



Fonte: Autoria própria (2023).

Figura 105 – Fissura do revestimento, com deslocamento do concreto, exposição e corrosão da armadura, próximo a junta de dilatação.



Fonte: Autoria própria (2023).

Figura 106 – Fissura do revestimento, com deslocamento do concreto, exposição e corrosão da armadura, próximo a junta de dilatação.



Fonte: Autoria própria (2023)

Figura 107 – Vazamento com exposição e corrosão da armadura.



Fonte: Autoria própria (2023).

Figura 108 – Vazamento com exposição e corrosão da armadura, a esquerda foto tirada no dia da vistoria com reservatório 70% vazio e a direita foto tirada em junho com reservatório em plena capacidade, extravasando água tratada para o exterior do reservatório formando pequena poça de água.



Fonte: Autoria própria (2023).

4.1.5.2 Laje superior

Foram identificadas fissuras na laje em vários pontos e também deslocamento do revestimento, ver figuras 109 a 111. Além de um ponto com fissura com exposição e corrosão da armadura, figura 110.

Figura 109 – Vista externa da laje superior, com presença de fissuras.



Fonte: Autoria própria (2023).

Figura 110 – Fissura com exposição e corrosão da armadura, a esquerda vista frontal a direita vista de planta.



Fonte: Autoria própria (2023).

Figura 111– Vista externa da laje de cobertura, com presença de deslocamento do revestimento.



Fonte: Autoria própria (2023).

A parte interna da laje apresenta exposição e corrosão das armaduras, ver figura 112. Nesse reservatório a parte externa continha mais manifestações patológicas do que a face interna. No entanto as manifestações identificadas são análogas à aquelas presentes no RA02, RA03 e RA04 sendo a situação decorrente do cobrimento deficiente somado ao ataque por cloretos presentes no interior do reservatório.

Figura 112 – Vista interna da laje, com exposição e corrosão da armadura.



Fonte: Autoria própria (2023).

Na figura 113, tem-se o quadro resumo das manifestações patológicas detectada no RA05.

Figura 113 – Quadro de dados das manifestações patológicas presentes no RA05

Elemento	Manifestação Patológica	Origem	Causa	Mecanismo de ocorrência
Parede do Reservatório	Cobrimento deficiente	Pode ser falha no projeto ou carbonatação	cobrimento no valor de 5,4 cm e 3,3 cm	
Parede do Reservatório	Presença de mancha mofo	de umidade na parede proveniente do interior do reservatório	de fungos vegetais que necessitam de ar e água para suas proliferações nas superfícies das partes das edificações que se encontram constantemente umedecidas e que tornam os ambientes propícios ao desenvolvimento destes);	
Parede do Reservatório	eflorescência	Lixiviação de água interior para o exterior	dos sais solúveis trata-se de uma manifestação da dissolução dos produtos de hidratação do tijolo, argamas-cimento presentes no interior do concreto, principalmente os hidróxidos de superfície e ali, sódio e potássio, em água após a evaporação (especialmente a água pura e branda) que são depositados para o exterior (lixiviação).	
Parede do Reservatório	fissura com vazamento			
Parede do Reservatório	deslocamento do concreto			
Parede do Reservatório	corrosão das armaduras			
Laje Superior	deslocamento do concreto	Ocorrência de lascas ou escamas que se destacam do concreto	ocorre devido a um ou mais fatores: choques, movimentações térmicas, pressão ou expansão das armaduras no interior do concreto (corrosão).	

Laje Superior	corrosão das armaduras	Ocorre pela contaminação por cloretos	Além dos danos físicos-químico gerador de redução da capacidade resistente da armadura, a corrosão provoca a perda de aderência do aço e o concreto eleva as tensões de tração (de até 15 MPa). Essas tensões ocasionam a fissuração e o posterior deslocamento do cobrimento do concreto (Cánovas, 1988).
---------------	------------------------	---------------------------------------	--

Fonte: Autora (2023).

4.2 Prognóstico

Com exceção do RA01, os reservatórios apresentam praticamente as mesmas manifestações patológicas em graus de comprometimento bem parecidos. Assim as alternativas de intervenção propostas serão semelhantes. Em todos os casos é necessário que seja feita avaliação da estrutura dos reservatórios por um especialista antes de qualquer intervenção.

4.2.1 Reservatório Enterrado ETA Jaime Câmara – RA01

Diante da presença de umidade na parede cobrimento deficiente recomenda-se que seja feita a remoção completa de todos os revestimentos internos das paredes e laje inferior, fazer reforço de concreto nos pontos de erosão. Execução de sistema de impermeabilização adequado com argamassa isotrópica.

4.2.2 Reservatório Semi-enterrado ETA Jaime Câmara – RA02, Reservatório Semi-enterrado Senac –RA03 e RA04 e Reservatório Semi-enterrado Celg – RA05

Tendo em vista a deficiência do cobrimento a grande quantidade fissuras, rachaduras, corrosão das armaduras e deslocamento do concreto propõe-se:

- Nas rachaduras realizar injeção de cristalizante com bomba e bicos de alta pressão.
- Remoção completa de todos os revestimentos internos e externos;
- Aplicação do inibidor de corrosão na armadura;
- Encamisamento interno e externo da estrutura;

- Execução de sistema de impermeabilização adequado com argamassa isotrópica.
- Recomposição das juntas de dilatação com argamassa polimérica.

4.3 Tomada de Decisão

Quanto a metodologia Lichtenstein aplicada neste estudo foram cumpridos todos os passos que antecedem a tomada de decisão de intervenção chegando no limite proposto por esse trabalho. Na próxima fase cabe a Saneago decidir conforme critérios próprios de operação se realizará as intervenções ou não.

- Não Intervir: Os reservatórios continuaram funcionando com desempenho insatisfatório até chegar ao colapso.
- Intervir: Restringir o uso, aplicar a terapia recomendada, aplicar parcialmente a terapia proposta.

Caso opte por intervir cabe ressaltar que ela pode optar por exemplo em demolir as lajes de tampa construindo novas e promover a aplicação das terapias recomendadas somente para as paredes e lajes de fundo.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os reservatórios foram construídos entre as décadas de 60 e 70 somando cerca de 50 anos, entende-se que as estruturas estão na fase mais avançada da vida útil da edificação.

De 1960 quando foi publicada a NB-1 até hoje várias mudanças ocorreram em relação aos procedimentos e requisitos básicos para o projeto de estruturas de concreto armado. A NB-1 foi revisada em 1978, foi substituída pela NBR 6118 em 1980 e esta foi revisada em 2003, 2007, 2014 e recentemente em agosto de 2023.

Essas duas reflexões tanto em relação a vida útil desses reservatórios quanto os parâmetros construtivos adotados precisam estar em mente tanto no momento da avaliação das manifestações patológicas quanto no momento das tomadas de decisão.

A Saneago possui procedimentos padronizados para realização de manutenções, com descrição de produtos a serem utilizados em cada parte da estrutura, no entanto as manutenções têm sido realizadas de forma corretiva e não preventiva. Conforme apresentado por Sitter (1984) isso acarreta altos custos de reparo em decorrência dos processos de deterioração avançados das estruturas.

A manifestação patológica identificada que mais comprometeu as estruturas foi a corrosão das armaduras das lajes superiores que ocorrem devido ao ambiente de contato com umidade e gás ocasionando o ataque por íons cloretos resultantes do cloro residual presente na água para desinfecção.

A parte interna dos reservatórios possuem dois tipos de ambientes um que fica totalmente submerso em água e outro que fica exposto a ação dos gases e ainda tem o ciclo de funcionamento do reservatório que proporcionam ciclos de umidade e seco. Uma alternativa que poderia minimizar essa situação seria alterar o procedimento de impermeabilização que atualmente utiliza o mesmo impermeabilizante tanto para a área que tem contato com gás quanto a área que fica submersa para dois impermeabilizantes distintos, por exemplo um impermeabilizante de base cimentícia para a área que fica submersa e um impermeabilizante a base de epóxi ou poliuretano para a área em contato constante com a fase gasosa.

Um desafio para esse ambiente de reservatório também é escolher produtos de forma a garantir que quando utilizados não reajam com a água armazenada formando algum subproduto da desinfecção ou até algum novo poluente emergente,

disruptor endócrino ou cancerígeno que seja agregado à água que será distribuída para a população.

6 CONCLUSÃO

Nessa pesquisa foi utilizado o método Lichtenstein (1986) para levantar, identificar, diagnosticar, e propor terapias para as manifestações patológicas. Foram avaliados 5 reservatórios de concreto armado da Saneago que compõem o Sistema de Abastecimento de água de Goiânia.

Foram detectadas as seguintes manifestações patológicas: cobertura deficiente, corrosão das armaduras, deslocamento do concreto, eflorescência, erosão, fissuras e rachaduras, mofo e umidade. Foram propostas terapias para sanar as manifestações patológicas e restabelecer os reservatórios para o pleno funcionamento.

De maneira geral os reservatórios apresentam praticamente as mesmas manifestações patológicas em grau de comprometimento avançado, provando que tanto na idade da construção (cerca de 40 anos) quanto no estágio de degradação as estruturas já estão na fase final da vida útil demandando alto investimento para realização dos reparos.

7 SUGESTÃO PARA NOVAS PESQUISAS

Considerando que durante a vistoria foi realizada somente a inspeção visual e o escaneamento da parede, sugere-se que novas pesquisas sejam realizadas com a aplicação de ensaios laboratoriais para melhor caracterização das manifestações patológicas. Oportunamente também que seja realizada a inspeção interna que somente é possível com o reservatório vazio.

Nesse estudo não foram avaliadas nem as condições das estruturas recomendando-se que seja feita por um especialista e também não foram levantados custos necessários para aplicação das terapias. Sugere-se que em próximas pesquisas estes itens possam ser analisados.

8 REFERÊNCIAS

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

ABNT.ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Projetos de reservatório de distribuição de água para abastecimento público. NBR 12217**. Rio de Janeiro, 1994.

AKDN, The Aga Khan Development Network. **Water tower, Kuwait City, Kuwait**. 2023. Acesso em: 08/06/2023 <<https://the.akdn/en/how-we-work/our-agencies/aga-khan-trust-culture/akaa/water-towers>>

ANTONELLI, G.R. **Apostila de Patologia nas Construções**. Disciplina de Patologia das Construções. CURSO de ENGENHARIA CIVIL. Goiânia. 2020.

ANTONELLI, G.R.; CARASEK, H.; CASCUDO O. **Levantamento das manifestações patológicas de lajes impermeabilizadas em edifícios habitados de Goiânia-GO**. IX Encontro Nacional do Ambiente Construído. Foz do Iguaçu. 2002.

ANTONELLI, G.R.;. **Impermeabilização de Lajes Térreas em Edifícios Residenciais**. Dissertação. Mestrado. EEC/UFG.Goiânia. 2002.

ARAÚJO, José Milton De. **Curso de concreto armado**. - Rio Grande: Dunas, 2014. v.1, 4.ed

BATISTA, Caio Cezar Pereira. **Estudo das manifestações patológicas e técnicas de reparos nas estruturas dos reservatórios elevados da cidade de São José de Piranhas- Pb**. – Cajazeiras/PB: IFPB, 2022.

BERTI, João V. M.; DA SILVA JÚNIOR, Gean P.; AKASAKI, JORGE L. **Estudo da origem, sintomas e incidências de manifestações patológicas do concreto**. Revista Científica ANAP.V. 12 N 26. 2019

BRANCO, Fernando, PAULO, Pedro; GARRIDO, Mário. **Boletim Técnico 4. Vida Útil na Construção Civil**. Asociación Latinoamericana de Control de Calidad, Patología y Recuperación de la Construcción - ALCONPAT Int. Elaboración de: ALCONPAT Brasil. México, 2013.

BRASIL. MINISTERIO DA SAUDE. **PORTARIA GM/MS Nº 888, DE 4 DE MAIO DE 2021**.

CASCUDO, Oswaldo; CARASEK, Helena e GOMES, Ronaldo. **MANUAL TÉCNICO. Diretrizes de Projeto, Execução e Manutenção de Reservatórios**. CONVÊNIO SANEAGO / UFG: Avaliação dos Reservatórios de Concreto Armado. Goiânia, 2001.

CIRINO, M., OLIVEIRA, B., PEREIRA, S., CORDEIRO, S., MORAIS, J., SILVA, E., & BARBOZA, E. (2020). **Avaliação das manifestações patológicas das edificações**

do departamento de engenharia de alimentos da Universidade Federal do Ceará. Research, Society and Development, 9(7), e481974424.

COSTA, Adriana Guimarães; Instituto Federal do Ceará – IFCE; Agência Nacional de Águas. **Sistemas de abastecimento de água**. CEARÁ, 2015.

DA SILVA, Luiz A.; PIRES, Rachel C. S.; DE FARIAS, Bruno M.; BISPO, Everton R. **Estudo sobre patologia estrutural em um reservatório de água de concreto armado**. Rev. Augustus | ISSN: 1981-1896 | Rio de Janeiro | v.25 | n. 49 | p. 66-80 | mar./jun. 2020.

FERREIRA, D. M.; GARCIA, G. C. **Patologia De Revestimentos Históricos De Argamassa**. O caso da ação da água na Igreja de São Francisco da Prainha, Rio de Janeiro. TCC, UFG.2016.

FIGUEIREDO, Enio Pazini; MEIRA, Gibson. **Boletim Técnico 6. Corrosão das armaduras das estruturas de concreto**. Asociación Latinoamericana de Control de Calidad, Patología y Recuperación de la Construcción - ALCONPAT Int. Elaboración de: ALCONPAT Brasil. México, 2013.

GRANATO, José E. **Patologia das construções**. Apostila. 2023.

HELENE, Paulo R. L. **Manual para reparo, reforço e proteção de estruturas de concreto**. . São Paulo: Pini. .2002

HELLER, L.; PADUA, V. L. **Abastecimento de água para consumo humano**. 1. ed. Belo Horizonte, 2010.

IBRACON . **Concreto: material construtivo mais consumido no mundo**. revista CONCRETO & Construções. Edição: 53.São Paulo, 2009.

KISHI, Regina Tiemy. **Reservatórios**. Apresentação da disciplina TH028 – Saneamento Ambiental I. UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ. Departamento de Hidráulica e Saneamento Centro. Politécnico. Curitiba. 2020. Acesso em: 08/06/2023. <<https://docs.ufpr.br/~rtkishi.dhs/TH028/>>

LICHTENSTEIN, N. B. **Patologia das construções: procedimento para diagnóstico e recuperação**. São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 1986b. Boletim técnico 06/86.

MARIANO, Brunna Alves Scardua; MARTINS, João Victor. **“LEI DOS CINCO”: AS REFERÊNCIAS DE SITTER**. Instituto IDD, São Paulo, 2018.

MORAIS, João Marcos Pereira De, Andreane Martin Da Silva, Eliezio Nascimento Barboza, Eduarda Moraes Da Silva, and Bruno Barbosa De Oliveira. **"Análise De Manifestações Patológicas Em Estruturas De Concreto Armado: Uma Revisão."** Research, Society and Development 9.7 (2020): E759974964. Web.

NASCIMENTO , ÉBERTO R.DOS S; FONTES, MICHEL D. DE S. **PATOLOGIAS NAS ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO**. REVISTA FATEC DE TECNOLOGIA E CIÊNCIAS – ISSN: 2448-4695 – V. 6. N. 1 – 2021

PIANCASTELLI, E. M. **Patologia e terapia das estruturas, sintomas e causas das enfermidades**. Curso de graduação em engenharia civil. Notas de aula. Universidade Federal de Minas Gerais, 2019.

PIRES, R. L. **Patologia nas edificações com ênfase em estruturas de concreto**. *Monografia (Especialização em Construção Civil)* - Universidade Federal de Minas Gerais, 33. Belo Horizonte, MG, 2011.

PORTUGAL. República Portuguesa. **Decreto Regulamentar 23/95 de 23 de Agosto 1995**, Regulamento geral dos sistemas públicos e prediais de distribuição de água e de drenagem de águas residuais. Ministério das Obras Públicas, Transportes e Comunicações. : Diário da República n.º 194/1995, Série I-B de 1995-08-23, páginas 5284 – 5319. 1995. Acesso em: 09/06/2023 < <https://diariodarepublica.pt/dr/detalhe/decreto-regulamentar/23-1995-431873/>>

RACHID, LIGIA E. F.; LONDERO, CAROLINA. **Levantamento de patologias em reservatórios de concreto armado no município de Cascavel-PR**. Revista Técnico-Científica do CREA-PR - ISSN 2358-5420 - 1ª edição - outubro de 2013.

SANEAGO. Saneamento de Goiás S.A. Notícias 23/09/2021. **Entenda como funcionam os sistemas de abastecimento de água em Goiânia**. 2021. Acesso em: 03/06/2023 https://www.saneago.com.br/#/noticia_interna/6650/3

SANEAGO. Saneamento de Goiás S.A. **Ofício nº 3066 / 2023 – DIPRO. Resposta ao Ofício nº 82/2023 – CP-GOIÂNIA/IFG**. Maio, 2023.

SANEAGO. Saneamento de Goiás S.A. **Plano de Racionamento do Abastecimento de Água. Sistema Integrado da Região Metropolitana de Goiânia**. Versão 2. AGOSTO, 2019.

SANTANA, Gabrielle A. **LEVANTAMENTO DE MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM RESERVATÓRIOS DE CONCRETO ARMADO NO MUNICÍPIO DE ALEGRETE/RS**. Universidade Federal do Pampa. Alegrete, 2017.

SITTER, W. R. (1984). **Costs of service life optimization "The Law of Fives"**. In CEB-RILEM Workshop on Durability of Concrete Structures (Copenhagen, Denmark, May 18-20, 1983) (pp. 131-134). (CEB Bulletin d'Information; Vol. 152). Comité Euro-International du Béton.

SNIS. Sistema Nacional de Informações sobre **Saneamento. Diagnóstico Temático Serviços de Água e Esgoto Gestão Técnica de Água**. Ministério do Desenvolvimento Regional. Secretaria Nacional de Saneamento. Brasília, maio de 2022.

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.

SOUZA, Vicente Custódio de; RIPPER, Thomaz. **Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto**. 1ª ed. São Paulo, Pini, 1998.

TINOCO, H. F. F., Morais, A. S. **Reservatórios em concreto armado: principais manifestações patológicas, diagnóstico e soluções para reabilitação e reforço.** IX Congresso Internacional sobre Patologia e Recuperação de Estruturas – CINPAR. João Pessoa, 2013.

TOKUDOME, N. (22 de junho de 2009). Carbonatação do concreto. (C. Itambé, Editor) Acesso em: 19/08/2023 <<http://www.cimentoitambe.com.br/carbonatacao-do-concreto/>>

TORETTI, Gabriela; SPECK, J. **PROPOSTA DE METODOLOGIA PARA TRATAMENTO DE PATOLOGIAS RECORRENTES EM RESERVATÓRIOS DE ÁGUA POTÁVEL, EM CONCRETO ARMADO.** UNESC- Universidade do Extremo Sul Catarinense – 2017.

TORRES, Ariela Silva, and Vivian Michele Bandeira Da Silva. **"ANÁLISE DAS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM RESERVATÓRIOS ELEVADOS NA CIDADE DE PELOTAS/RS."** REEC: Revista Eletrônica De Engenharia Civil 12.1 (2016): REEC: Revista Eletrônica De Engenharia Civil, 2016-06-15, Vol.12 (1). Web.

TSUTIYA, Milton Tomoyuki. **Abastecimento de Água.** 4. ed. São Paulo: Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2006.

UNESCO. World Heritage Convention. Tentative Lists. **Abraj Al-Kuwait.** 2023. Acesso em: 09/06/2023 <https://whc.unesco.org/en/tentativelists/5933/>

VERÇOZA, E. J. Patologia das Edificações. Porto Alegre, Editora Sagra, 1991. 172p.

THOMAZ, E. C. S. Notas de aula. As contribuições do Prof. Fernando Lobo Carneiro.

As Normas Brasileiras de Projeto de Estruturas de Concreto: História e Evolução. Acesso em: 02/11/2023 < chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgiclfndmkaj/http://www.pgmecc.ime.br/~webde2/prof/ethomaz/lobocarneiro/34-NB1%201960.pdf>