

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DA PARAÍBA
CAMPUS CAJAZEIRAS

CAIO CEZAR PEREIRA BATISTA

**ESTUDO DAS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS E TÉCNICAS DE
REPAROS NAS ESTRUTURAS DOS RESERVATÓRIOS ELEVADOS DA
CIDADE DE SÃO JOSÉ DE PIRANHAS/PB**

Cajazeiras-PB 20/03/2022

CAIO CEZAR PEREIRA BATISTA

**ESTUDO DAS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS E TÉCNICAS DE
REPAROS NAS ESTRUTURAS DOS RESERVATÓRIOS ELEVADOS DA
CIDADE DE SÃO JOSÉ DE PIRANHAS/PB**

Trabalho de Conclusão de Curso submetido à
Coordenação do Curso de Bacharelado em
Engenharia Civil do Instituto Federal de
Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba-
Campus Cajazeiras, como parte dos requisitos
para a obtenção do Título de Bacharel em
Engenharia Civil, sob Orientação do Prof. Iarly
Vanderlei da Silveira

Cajazeiras-PB2022

IFPB / Campus Cajazeiras
Coordenação de Biblioteca
Biblioteca Prof. Ribamar da
Silva

Catálogo na fonte: Suellen Conceição Ribeiro CRB-2218

B333e 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/Caio Cezar Pereira Batista. – Cajazeiras/PB: IFPB, 2022.

58f.:il.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba-IFPB, Campus Cajazeiras. Cajazeiras, 2022.

Orientador (a): Prof. Caio Cezar Pereira Batista.

1. Reservatórios. 2. Reparos estruturais. 3. São José de Piranhas-PB.

I. Batista, Caio Cezar Pereira. II. Título

CDU: 624 B333e

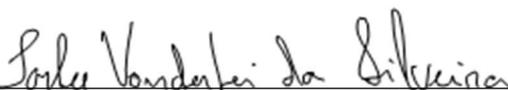
CAIO CEZAR PEREIRA BATISTA

**ESTUDO DAS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS E TÉCNICAS DE
REPAROS NAS ESTRUTURAS DOS RESERVATÓRIOS ELEVADOS DA
CIDADE DE SÃO JOSÉ DE PIRANHAS/PB**

Trabalho de Conclusão de Curso
submetido à Coordenação do Curso de
Bacharelado em Engenharia Civil do
Instituto Federal de Educação, Ciência e
Tecnologia da Paraíba, *Campus*
Cajazeiras, como parte dos requisitos para
a obtenção do Título de Bacharel em
Engenharia Civil.

Aprovado em 24 de março de 2022.

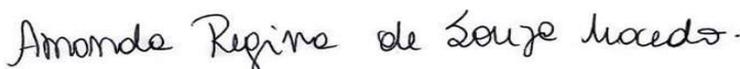
BANCA EXAMINADORA



Iarly Vanderlei da Silveira – IFPB-*Campus* Cajazeiras
Orientador



Sebastião Simão da Silva – IFPB-*Campus* Cajazeiras
Examinador 1



Amanda Regina de Souza Macedo – IFPB-*Campus* Catolé do Rocha
Examinador 2

Dedico este trabalho aos familiares, professores e amigos que fizeram parte dessa trajetória e sempre desejaram meu melhor.

AGRADECIMENTOS

Inicialmente, quero agradecer a Deus pela vida e por sempre abençoar minha jornada, dando-me força nos momentos difíceis e energia para alcançar todos os meus objetivos.

Aos meus Pais Reginaldo Batista e Ivonete Pereira, que, durante todos esses anos, sempre apoiaram-me e acreditaram em mim, escutando-me nas horas difíceis e direcionando ao caminho certo.

Agradeço a minha esposa e companheira Larissa, que sempre esteve presente ao meu lado me ensinando a ser uma pessoa melhor, apoiando-me nas batalhas usando suas palavras de conforto.

Agradeço aos meus Irmãos Ramom e Monique por sempre torcer para o meu crescimento, em especial Monique, que, além de ser minha colega de curso, sempre esteve presente em todas as atividades, compartilhando todo o seu conhecimento junto a mim.

Agradeço a todos os amigos e colegas de curso, em especial meu amigo Júlio César por todo auxílio nas atividades no decorrer de todo o curso.

Agradeço ao Instituto Federal da Paraíba, IFPB, *Campus* cajazeiras por toda oportunidade em realizar o curso nessa conceituada instituição.

Agradeço a todos os professores pela dedicação e empenho ao transmitir todo o conhecimento, em especial ao meu orientador Iarly Vanderlei da Silveira e a Gastão Coelho de Aquino Filho, por me ajudar durante a realização do trabalho.

Por fim, agradeço a todos que de alguma forma torceu pelo meu crescimento e ajudou até este momento.

RESUMO

Ao se deparar com alguma manifestação patológica em estruturas de concreto armado, a preocupação não é somente com um desconforto visual, mas também com o bom desempenho da estrutura. Essas anomalias podem ser causadas por erros de projeto, execução, utilização, material e manutenção, sendo os casos de erros na execução os mais recorrentes. As patologias no concreto armado podem, em muitos casos, comprometer a sua funcionalidade e desempenho, gerando a diminuição da sua vida útil. No caso dos reservatórios construídos em concreto armado, o aparecimento das patologias traz prejuízos para a empresa responsável e também para a população que depende diretamente do consumo da água. Nesse sentido, este trabalho tem como objetivo realizar o levantamento das manifestações patológicas e estabelecer possíveis soluções para o reparo dos reservatórios feitos em concreto armado na Cidade de São José de Piranhas-PB. Para o desenvolvimento do trabalho, foram feitas visitas a Companhia de Água e Esgoto (CAGEPA) a fim de colher o máximo de informações sobre os reservatórios. Em seguida, foram feitas visitas no local de cada reservatório e, com ajuda de uma câmera convencional, registrou-se as principais manifestações patológicas que afetam os reservatórios. Por meio das imagens registradas, pode-se concluir que as patologias mais frequentes são as seguintes: manchas, fissuras, deslocamento do concreto, corrosão das armaduras e infiltrações. Por fim, foi feito diagnóstico de cada anomalia presente, destacando as principais causas do aparecimento de tais patologias e trazendo soluções para o reparo das manifestações patológicas.

Palavras-chave: manifestações patológicas, patologias, reservatórios.

ABSTRACT

When faced with any pathological manifestation in reinforced concrete structures, the concern is not only with visual discomfort, but also with the good performance of the structure. These anomalies can be caused by errors in design, execution, use, material and maintenance, with cases of errors in execution being the most recurrent. Pathologies in reinforced concrete can, in many cases, compromise its functionality and performance, causing a reduction in its useful life. In the case of reservoirs built in reinforced concrete, the appearance of pathologies brings losses to the responsible company and also to the population that depends directly on water consumption.

In this sense, this work aims to carry out a survey of pathological manifestations and establish possible solutions for the repair of reservoirs made of reinforced concrete in the City of São José de Piranhas-PB. For the development of the work, visits were made to the sector responsible for the water supply of the City (CAGEPA) in order to collect as much information as possible about the reservoirs. Then, visits were made to the site of each reservoir and, with the help of a conventional camera, the main pathological manifestations that affect the reservoirs were recorded. Through the recorded images, it can be concluded that the most frequent pathologies are the following: stains, fissures, concrete spalling, corrosion of reinforcement and infiltrations. Finally, a diagnosis of each anomaly present was made, highlighting the main causes of the appearance of such pathologies and bringing solutions for the repair of pathological manifestations.

Keywords: pathological manifestations, pathologies, reservoirs.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Exemplo de reservatório quanto a sua implantação.	17
Figura 2 - Incidência das manifestações patológicas.....	19
Figura 3 - Causas intrínsecas.	20
Figura 4 - Causas extrínsecas.	20
Figura 5 - Retração em viga e laje.....	24
Figura 6 - Processo de corrosão em estruturas de concreto armado.....	25
Figura 7 - Fase de instalação do processo de corrosão das armaduras.....	26
Figura 8 - Célula de corrosão no concreto armado.....	27
Figura 9 - (a) medição da frente carbonatada e (b) exemplo de concreto carbonatado.....	30
Figura 10 - (a) eflorescência em viga e (b) processo de lixiviação em viga.	31
Figura 11 - Preparação da fenda para o procedimento de injeção.....	35
Figura 12 - Aplicação de injeção de resina epóxi.....	36
Figura 13 - Reparo de uma fissura por costura.....	36
Figura 14 - Grauteamento de pilar.....	39
Figura 15 - Fluxograma da metodologia estudada no trabalho.	41
Figura 16 - Reservatório R01.	44
Figura 17 - Deslocamento do concreto, fissuração e exposição das armaduras no pilar.....	45
Figura 18 - Deslocamento do concreto e exposição das armaduras na viga de travamento dos pilares.	45
Figura 19 – Deslocamento do concreto e exposição das armaduras na parede do reservatório.	46
Figura 20 - Reservatório R02.	48
Figura 21 - Vazamento nas juntas de encontro dos anéis.....	49
Figura 22 - Instalação da forma com cachimbo.	51

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Limite de aberturas de fissuras de acordo com a classe de agressividade ambiental	22
Tabela 2 - Configurações típicas das fissuras.....	23
Tabela 3 - Informações preliminares dos reservatórios.....	42
Tabela 4 - Resumo do trabalho.....	53

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
2 OBJETIVOS	15
2.1 Objetivo geral.....	15
2.1 Objetivos específicos.....	15
3 REVISÃO DE LITERATURA.....	16
3.1 Reservatórios.....	16
3.2 Vida útil e durabilidade das estruturas	18
3.3 Patologias em estruturas de concreto armado	18
3.3.1 Fissuras	21
3.3.1.1 <i>Deficiência de projeto</i>	22
3.3.1.2 <i>Retração</i>	23
3.3.1.3 <i>Reação expansiva</i>	24
3.3.1.4 <i>Corrosão das armaduras</i>	25
3.3.1.5 <i>Variação de temperatura</i>	27
3.3.2 Desagregação do concreto	28
3.3.2.1 <i>Calcinação</i>	28
3.3.2.2 <i>Ataques biológicos</i>	29
3.3.3 Carbonatação do concreto	29
3.3.4 Lixiviação e eflorescência	31
3.4 Principais tipos de recuperação e reforço em estrutura de concreto armado	32
3.4.1 Tratamento de fissuras.....	33
3.4.1.1 <i>Identificação do tipo de fissura</i>	33
3.4.1.2 <i>Técnica de injeção de fissuras</i>	34

3.4.1.3 Costura das fissuras	36
3.4.2 Reparos em estruturas.....	37
3.4.2.1 Reparo com argamassa	38
3.4.2.2 Reparo com concreto.....	38
3.4.2.3 Reparos com graute.....	39
3.4.3 Técnicas de impermeabilização em estruturas	39
4 METODOLOGIA.....	41
4.1 Coleta de dados.....	41
4.2 Tratamento dos dados	42
4.3 Diagnóstico.....	42
5 RESULTADOS E ANÁLISES	44
5.1 Manifestações patológicas encontradas nos reservatórios.....	44
5.1.1 Reservatório 01	44
5.1.2 Reservatório 02.....	47
5.2 Técnicas de reparo nos reservatórios.....	49
5.2.1 Fissuras	50
5.2.2 Manchas.....	50
5.2.3 Deslocamento do concreto	51
5.2.4 Corrosão das armaduras	52
5.2.5 Infiltração.....	52
6 CONCLUSÃO.....	54
REFERÊNCIAS	56

1 INTRODUÇÃO

O crescimento populacional tem feito com que mais condomínios sejam construídos e por consequência, a ampliação de loteamentos. Tal crescimento, trouxe um aumento considerável do consumo de água e a necessidade de sua distribuição. Nesse sentido, a construção de reservatórios vem se tornando imprescindível para o sistema urbano e visa proporcionar uma melhor qualidade de vida para a humanidade. De acordo com Santana (2017), os reservatórios são feitos com o intuito de manter algo depositado, não servindo somente para acumulação de água, também podendo ser utilizados para depositar outros tipos de fluidos como gasolina, óleos, gases, bebidas, entre outros produtos.

Existem vários tipos de reservatórios. Os feitos em aço são destinados para grandes indústrias que necessitam de um maior depósito de água, os reservatórios fabricados em polietileno são os mais usados para fornecer a reserva para as pequenas e grandes residências. Contudo, de acordo com Santana (2017), para os locais onde se precisam atender vazões maiores, os mais utilizados são aqueles que podem ser construídas no local e que poderão satisfazer a demanda necessária, as dimensões e formatos necessários e são, geralmente, construídos em concreto armado ou argamassa armada.

Como toda estrutura, os reservatórios de concreto armado estão sujeitos aos mais diversos problemas, denominados de patologias das construções que, de acordo com Souza e Ripper (1998), é o estudo das origens, formas de manifestação, consequências e mecanismos de ocorrências das falhas e dos sistemas de degradação das estruturas.

Quando um reservatório está sujeito às mais diversas patologias, podem acontecer, dependendo da patologia, a contaminação da água e conseqüentemente a impossibilidade para o consumo. Além disso, diversos problemas em sua estrutura podem ocasionar até o colapso por falta de manutenção preventiva.

Sabendo a importância dos reservatórios em uma cidade, é imprescindível ter uma manutenção nos reservatórios para com isso manter a boa funcionalidade do sistema e conseqüentemente a qualidade no fornecimento. O surgimento de manifestações patológicas em qualquer estrutura de concreto armado pode trazer danos até irreversíveis, sem contar que, para os reparos, é necessário haver mantimento de recursos financeiros.

A realização de um estudo das manifestações patológicas é de fundamental importância para avaliar os problemas e conseqüentemente servir de base para que em um futuro levantamento, o profissional responsável tome como base para fornecer respostas a

determinados problemas.

Este trabalho tem a finalidade de promover, por meio de registros fotográficos e dados da empresa responsável pelo Sistema de Abastecimento de Água e Esgoto, um levantamento das manifestações patológicas e possíveis soluções para os problemas encontrados nos reservatórios feitos de concreto armado na Cidade de São José de Piranhas– PB.

2 OBJETIVOS

Neste capítulo estão delineados os objetivos deste Trabalho de Conclusão de Curso (TCC).

2.1 Objetivo geral

Este trabalho tem como objetivo geral desenvolver um levantamento das manifestações patológicas e estabelecer possíveis soluções para o reparo dos reservatórios feitos de concreto armado na Cidade de São José de Piranhas-PB.

2.1 Objetivos específicos

Para atingir o objetivo geral, foram definidos os seguintes objetivos específicos:

- a) realizar levantamento sobre dados históricos, volume dos reservatórios e importância do reservatório para àquele local;
- b) realizar levantamentos das manifestações patológicas nos reservatórios;
- c) especificar as patologias encontradas para melhor compreensão;
- d) investigar e descrever as possíveis técnicas de reparo das patologias encontradas.

3 REVISÃO DE LITERATURA

Neste tópico, serão tratados assuntos referentes ao entendimento e a função dos reservatórios, objetivando descrever os conceitos sobre vida útil e durabilidade das estruturas, manifestações patológicas em estruturas de concreto armado e por fim as técnicas de reparo nas estruturas.

3.1 Reservatórios

A principal função dos reservatórios é manter algo depositado para uma futura utilização. Vários tipos de fluídos podem ser, indo de água potável a diversos outros como gasolina, álcool, óleos, petróleo, etc.

De acordo com a NBR 12217 (ABNT, 1994), os reservatórios de distribuição são “elementos do sistema de abastecimento de água destinado a regularizar as variações de adução e de distribuição e condicionar as pressões na rede de distribuição”. Nesse enfoque, os reservatórios são essenciais para manter-se estável a distribuição sem que haja um colapso no abastecimento.

Os reservatórios são classificados, de acordo com Ramos (2010), quanto a sua função (distribuição ou equilíbrio, regularização de transporte, reserva para combate a incêndio e de armazenamento de líquido diversos), implantação (enterrado, semienterrado, apoiados, elevados), capacidade (pequeno, médio, grande), forma (seção retangular, quadrado, circular e variável), modo de encerramento (coberto, não coberto), material de construção, configuração de construção e natureza do líquido.

Das características mencionadas anteriormente, Ramos (2010) aponta que quatro são tidas como essenciais, que são:

- a) quanto à função:
 - distribuição ou equilíbrio;
 - regularização de transportes;
 - reserva para combate a incêndio.
- b) quanto a sua capacidade:
 - pequenos (volume menor que 500 m³);
 - médios (volume entre 500 m³ e 5000 m³);

- grandes (volume maior que 5000 m³).

c) quanto ao material empregado em sua construção:

- aço;
- estrutura metálica;
- concreto armado;
- alvenaria estrutural;
- alvenaria.

d) quanto a sua implantação:

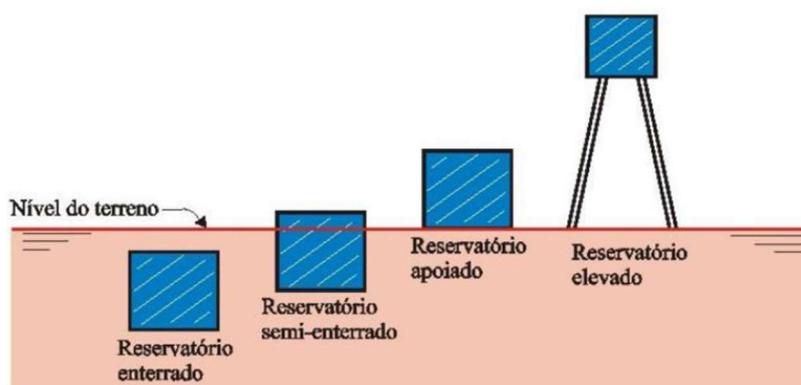
- enterrado: este tipo de reservatório é construído diretamente abaixo da superfície do terreno. Sua principal vantagem é a conservação da água contra agentes físicos como a variação da temperatura. A depender do tipo de terreno, a principal desvantagem é o custo elevado para sua escavação.

- semienterrado: os reservatórios semienterrados caracterizam-se por sua forma de construção ser uma parte abaixo do nível do terreno e outra acima. O acesso às instalações é um ponto positivo com relação aos reservatórios totalmente enterrados e sua construção é feita quando se tem altos custos na escavação e um solo com alta resistência.

- apoiados: esse tipo de reservatório é construído diretamente na superfície do terreno quando se tem uma boa capacidade de resistir aos esforços. Sua forma de construção apresenta condições adequadas para a manutenção e instalação.

- elevado: são construídos acima da superfície do terreno, quando deseja-se alcançar a pressão mínima para o abastecimento. Geralmente, é construído em estrutura de concreto armado sendo que existem outros tipos de material como os feitos em estruturas metálicas. A Figura 1 exemplifica os tipos de reservatórios mencionados:

Figura 1 - Exemplo de reservatório quanto a sua implantação.



Fonte: Alem Sobrinho; Contrera, 2016.

Atualmente, o concreto armado é um dos materiais mais utilizados para a construção de reservatórios. De acordo com Brissa (2008), isso deve-se ao fato de facilitar a composição de formas e dimensões que são importantes para a produção de detalhes arquitetônicos.

3.2 Vida útil e durabilidade das estruturas

Antes de tudo, para entender sobre vida útil de uma estrutura, temos que ter em mente o conceito de durabilidade. De acordo com Souza e Ripper (1998), é a relação entre as características de deterioração do concreto e do sistema estrutural a uma determinada construção, individualizando-a pela avaliação da resposta que se dará aos efeitos da agressividade ambiental, e com isso, definindo a vida útil da estrutura.

Ainda sobre durabilidade nas estruturas a NBR 6118 (ABNT, 2014) diz que, para atingi-la, a cooperação e as atitudes coordenadas de todos os envolvidos no projeto e as condições de uso, inspeção e manutenção são fatores essenciais. Nesse sentido, é primordial ter boa concepção de uma determinada estrutura em que, a utilização da tomada de decisões no projeto, procedimentos e materiais utilizados serão fatores decisivos para uma garantia da vida útil do projeto.

Para a concepção de vida útil, a NBR 6118 (ABNT, 2014), descreve o conceito como sendo, “período de tempo durante o qual 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.”

Contudo, pode-se notar que há uma ligação direta entre durabilidade nas estruturas e vida útil. Estruturas bem projetadas conforme as normas e bem executadas, apresenta desempenhos satisfatórios, custos de manutenção baixos, conseqüentemente, uma vida útil prolongada.

3.3 Patologias em estruturas de concreto armado

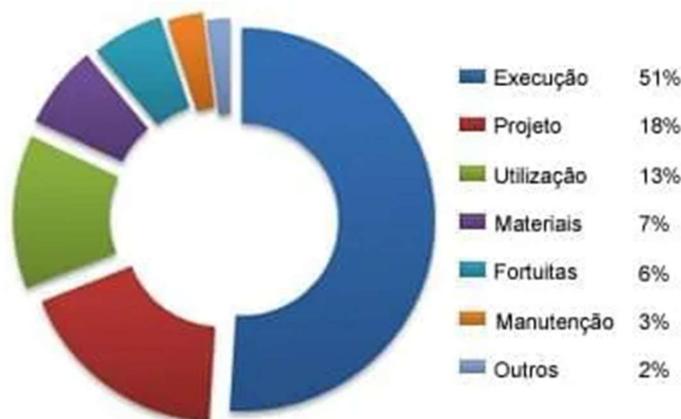
Como mencionado anteriormente, em estruturas de concreto armado a durabilidade a vida útil são fundamentais para que as estruturas tenham um bom desempenho por toda sua vida útil.

De acordo com Souza (2014), as patologias encontradas na construção civil podem

iniciar o processo de deterioração na fase de projeto devido a incompatibilidade de suas finalidades e funcionalidade. Raramente as estruturas de concreto apresentarão alguma falha por causas isoladas, geralmente será por algo bem característico. No entanto, caso o projeto, a execução, e a utilização sejam realizados de maneira errônea, vários problemas patológicos surgirão durante sua vida útil.

Vários são os fatores que levam as estruturas de concreto a desenvolver problemas patológicos. Dentre elas, as falhas na etapa do projeto e na execução são as mais recorrentes, assim como mostrado na Figura 2, que retrata a porcentagem das causas de patologias em obras.

Figura 2 - Incidência das manifestações patológicas.



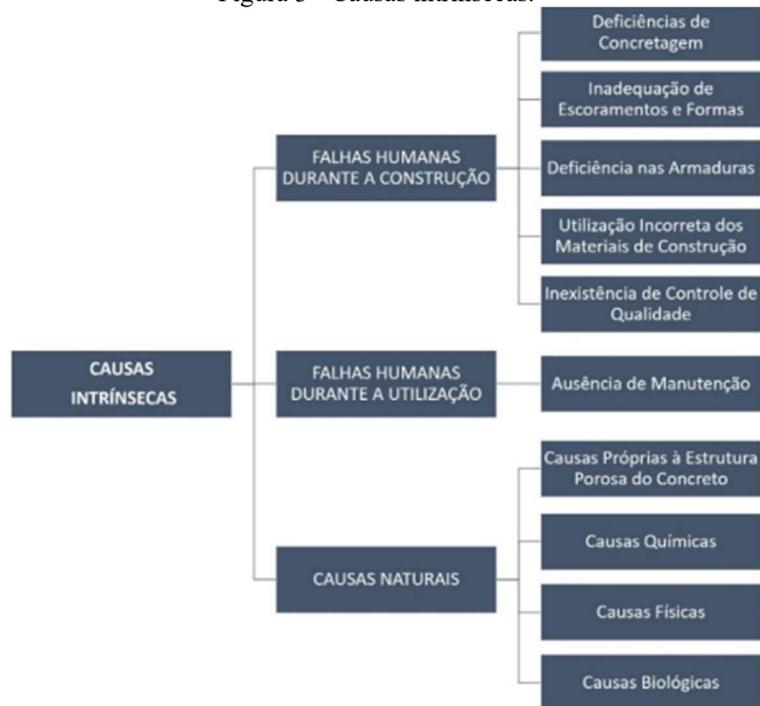
Fonte: Revista aecweb, não datado.

Como mencionado anteriormente, as patologias geradas na fase de execução e projeto estão entre as mais recorrentes. Quando uma estrutura é submetida a carregamentos para os quais ela não foi projetada para receber, muito provavelmente apresentará problemas patológicos, e esses problemas são definidos como patologias devido a má utilização, que representa cerca de 13%. A utilização de materiais de má qualidade, falta de manutenção também acarretam problemas nas estruturas.

Compreendendo as incidências que levam as estruturas a desenvolver problemas, Souza e Ripper (1998) afirmam que é necessário entender o porquê do surgimento e do desenvolvimento da doença. O mesmo autor aborda duas causas responsáveis pela implantação de diversos processos de deterioração, que são:

- a) causas intrínsecas: em que o processo de deterioração das estruturas é inerente a própria estrutura, assim como mostrado na Figura 3.

Figura 3 - Causas intrínsecas.



Fonte: Santana, 2017.

b) causas extrínsecas: são externas ao corpo estrutural, ou seja, são ataques na estrutura de fora para dentro. Os motivos para sua deterioração vão desde falhas humanas no projeto a ações biológicas, assim como mostrado na Figura 4.

Figura 4 - Causas extrínsecas.



Fonte: Santana, 2017.

Portanto, entendendo as causas citadas anteriormente, o estudo a seguir abordará alguns dos processos físicos de deterioração da estrutura. Dentre eles estão:

- a) fissuras: que são causadas por deficiência de projeto, retração, reação expansiva, corrosão das armaduras e variação de temperatura;
- b) desagregação do concreto: causado pela calcinação e ataques biológicos;
- c) carbonatação do concreto;
- d) lixiviação e eflorescência.

3.3.1 Fissuras

As fissuras são um dos problemas patológicos mais recorrentes nas construções, principalmente em estruturas de concreto. Chama atenção dos proprietários e leigos por trazer um certo desconforto estético e principalmente a incerteza do que realmente está acontecendo na estrutura.

De acordo com Souza e Ripper (1998), a observação no que diz respeito a caracterização da fissuração, está ligada diretamente na origem, intensidade e magnitude do quadro de fissuração existente. Além disso, salienta-se que o concreto por ser um material de baixa resistência a tração, tem grandes possibilidades de fissurar.

De acordo com a NBR 15575-2 (ABNT, 2013), fissuras de componentes estruturais são seccionamento na superfície ou em toda a seção transversal de um componente provocado por tensões normais ou tangenciais. As fissuras podem ser classificadas em ativas (variação da abertura por movimentação higrotérmica) ou passivas (aberturas constantes).

O estudo do limite da abertura de fissuras é fundamental para saber se uma estrutura sofrerá com o processo da corrosão nas armaduras. A NBR 6118 (ABNT, 2014), diz que a abertura máxima característica das fissuras, desde que não exceda valores da ordem de 0,2 mm a 0,4 mm sob ação das combinações frequentes, não tem importância significativas na corrosão. Por outro lado, observa-se que a abertura de fissuras está diretamente ligada com a classe de agressividade ambiental que a estrutura se encontra, como mostrado na Tabela 1.

Tabela 1 - Limite de aberturas de fissuras de acordo com a classe de agressividade ambiental.

Tipo de concreto estrutural	Classe de agressividade ambiental (CAA) e tipo de protensão	Exigências relativas à fissuração	Combinação de ações em serviço a utilizar
Concreto simples	CAA I a CAA IV	Não há	-
Concreto armado	CAA I	ELS-W $w_k \leq 0,4$ mm	Combinação frequente
	CAA II e CAA III	ELS-W $w_k \leq 0,3$ mm	
	CAA IV	ELS-W $w_k \leq 0,2$ mm	

Fonte: Adaptado NBR 6118, 2014.

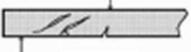
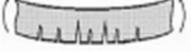
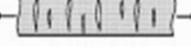
Contudo, Souza e Ripper (1998) destacam que os passos a serem dados para identificar estruturas de concreto fissuradas seriam primeiramente, o mapeamento e sua classificação, que vem a ser a definição da atividade ou não da mesma. Feitos a classificação e mapeamento, podem ser feitos estudos das causas que levam as estruturas de concreto a apresentarem fissuras, que, dentre elas estão: as deficiências de projeto, retração, reação expansiva, corrosão das armaduras, variação de temperatura.

3.3.1.1 Deficiência de projeto

A deficiência no projeto acarreta danos na peça estrutural devido, por exemplo, um mal dimensionamento, má utilização da estrutura podendo gerar o aparecimento de fissuras no seu entorno.

As deficiências apresentam-se em várias formas, Souza e Ripper (1998) destacam que, a depender do tipo de esforço que a estrutura esteja submetida, serão definidas as formas das fissuras, como mostrado na Tabela 2.

Tabela 2 - Configurações típicas das fissuras.

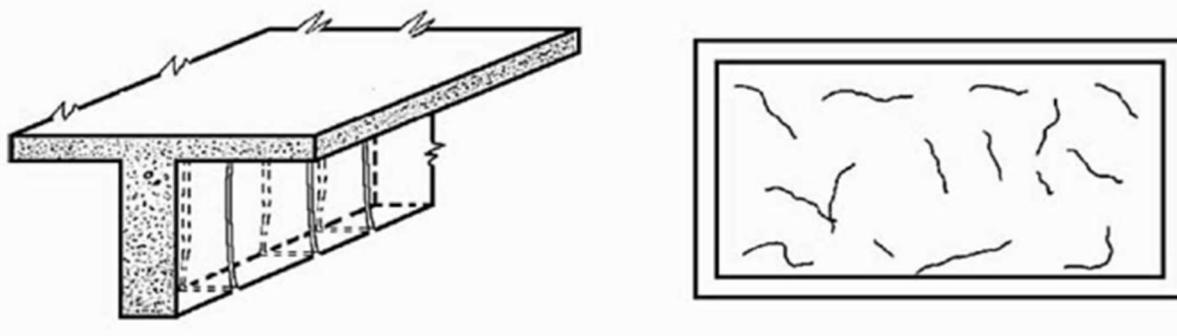
Tipos de fissuras	Peças mais sujeitas	Configuração típica	EXEMPLO
Recalque Diferencial da Fundação	Paredes e Vigas	- Inclinação, se afastando da região que menos recalçou; - Abertura variável.	
Cisalhamento	Qualquer elemento	- Mais inclinada junto ao apoio, verticalizando-se em direção ao meio do vão; - Abertura variável, desaparecendo ao atingir a região comprimida da peça.	
Flexão	Qualquer elemento	- Mais concentrada junto às regiões de máximo momento fletor; - abertura variável, desaparecem ao atingirem a região comprimida	
	Lajes, junto aos cantos	- Diagonal, formando um triângulo, aproximadamente isósceles com os cantos.	
Torção	Peças lineares, com cargas não coincidentes com seu eixo longitudinal	- Em forma de hélice ao longo do eixo longitudinal.	
Tração	Qualquer elemento tracionado longitudinalmente	- Perpendiculares à direção da carga de tração, seccionando a seção transversal; - Mais fechada junto às armaduras.	
	Peças de suporte	- Perpendiculares à direção da reação de apoio das peças apoiadas indiretamente.	
Punção	Lajes, sapatas, paredes com carga perpendiculares a seu plano.	- Fissuras em formato de "telas de aranha" visto em planta.	

Fonte: Santana, 2017.

3.3.1.2 Retração

A retração do concreto nada mais é do que a diminuição do volume do concreto pela perda excessiva de água. Algumas causas levam o concreto a retração e de acordo com Souza e Ripper (1998) é importante cuidar da interação da estrutura com o meio ambiente, sendo que, na época da concretagem as elevadas temperaturas, baixos teores de umidade do ar e a incidência de ventos e radiação solar são prejudiciais para a perfeita cura do concreto. Isso pode causar retrações nas estruturas de concreto, como mostrado na Figura 5.

Figura 5 - Retração em viga e laje.



Fonte: Souza e Ripper, 1998.

Portanto, a retração ocorre nas primeiras idades do concreto e de acordo com Brissa (2008), a retração pode ser limitada utilizando outros procedimentos tecnológicos como cura e traço adequado do concreto. Souza e Ripper (1998) destacam que os agregados utilizados no concreto, seja do ponto de vista econômico ou do ponto de vista técnico, exercem influência sobre algumas características importantes, como a diminuição da retração.

3.3.1.3 Reação expansiva

A reação mais conhecida no concreto armado é a reação álcali-agregado que, de acordo com a NBR 6118 (ABNT, 2014), é a expansão por ação das reações entre os álcalis do concreto e agregados reativos.

De acordo com Souza e Ripper (1998), esta reação é considerada expansiva pela formação adicional de sólidos em meio confinado, provocando, de início, a fissuração da superfície do concreto, conferindo a mesma um aspecto de mosaico, para posteriormente vir a desagregar a estrutura.

De acordo com a NBR 15577-1 (ABNT, 2018), existem dois tipos de reação álcali-agregado, a reação álcali-sílica e a reação álcali-carbonato. A primeira diz respeito a reação entre hidróxidos alcalinos, provenientes do cimento Portland ou outras fontes com certas rochas silicosas. Já a reação álcali-carbonato é a reação entre hidróxidos alcalinos, proveniente do cimento Portland ou outras fontes, e certos agregados calcários dolomíticos argilosos.

Para prevenir a reação álcali-agregado Souza e Ripper (1998), sugerem a adição de pozolanas, desde que em quantidades adequadas o que poderá ser um recurso, sempre que não for possível prevenir com a utilização de cimento com baixo teor de álcalis.

3.3.1.4 Corrosão das armaduras

A corrosão das armaduras é um dos tipos de patologia mais frequente nas construções. É caracterizada pela deterioração do material por meio da ação química ou eletroquímica do meio ambiente, resultando na perda de massa do material. O processo corrosivo nas armaduras inicia-se com aparecimento de manchas na região do concreto, deslocamento da camada de concreto que reveste as armaduras e posteriormente diminuição da seção das armaduras devido ao processo de corrosão como mostrado na Figura 6.

Figura 6 - Processo de corrosão em estruturas de concreto armado.



Fonte: Autoria própria, 2022.

De acordo com Souza e Ripper (1998), a deterioração das armaduras inicia-se com a destruição da película passivante ao redor de toda a superfície exterior das barras resultando a corrosão na armadura.

Vários são os mecanismos de degradação da estrutura, sendo que, o concreto está submetido diariamente aos agentes químicos e físicos provocando processos de deterioração nas armaduras do concreto armado com a diminuição da seção e conseqüentemente perda de

resistência, assim como mostrado na Figura 7.

Figura 7 – Fase de instalação do processo de corrosão das armaduras.



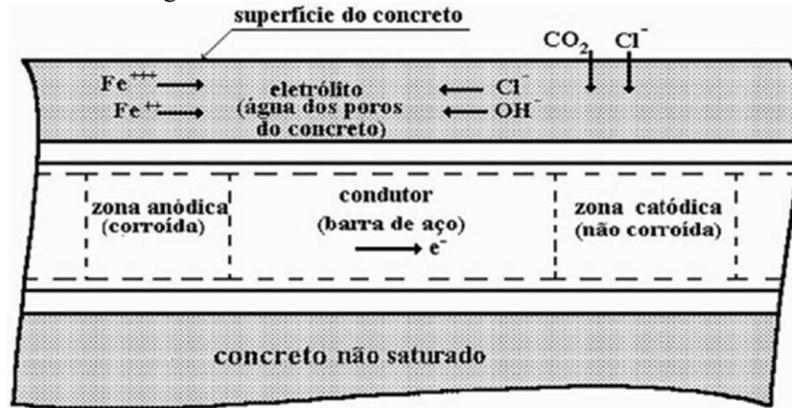
Fonte: Souza e Ripper, 1998.

De acordo com Helene (1993), os produtos formados de natureza expansivos e porosos, denominado de ferrugem, só ocorrem quando observadas as três condições:

- a) deve existir um eletrólito: pelo fato da água estar sempre presente no concreto, com quantidades suficientes para atuar como eletrólito, principalmente em regiões com clima úmido;
- b) deve existir uma diferença de potencial de eletrodo: devido a diferença de umidade, de aeração, de tensão no aço, de concentração salina, são fatores que produzem diferença de potencial entre dois pontos da barra;
- c) deve existir oxigênio: é fundamental a presença de oxigênio para a formação da ferrugem, mas nem sempre o produto da corrosão será o mesmo pois, nas zonas anódicas o ferro perde elétron, ocasionando a dissolução do metal e nas zonas catódicas, em meios neutros ou alcalinos, ocorre a redução do oxigênio.

De acordo com Souza e Ripper (1998), no concreto armado, as regiões com menor concentração de oxigênio são as anódicas. Da combinação do cátion Fe^{++} com os ânions $(OH)^-$ resulta o hidróxido ferroso, depositado no ânodo. No cátodo deposita-se o hidróxido férrico, estes dois produtos constituem a ferrugem, assim mostrado na Figura 8.

Figura 8 - Célula de corrosão no concreto armado.



Fonte: Souza e Ripper, 1998.

Como vimos, a vida útil do concreto está diretamente ligada ao ambiente em que se encontra. De acordo com Soares, Vasconcelos e Nascimento (2015), em ambientes secos os riscos de corrosão das armaduras são mínimos ou quase inexistentes, pois faz-se necessário a presença de água para ocorrer o processo corrosivo. Assim como em ambientes de total e permanente saturação do concreto, já que não há a presença do oxigênio, sendo essencial ao processo.

Contudo, a corrosão nas estruturas de concreto se dá do exterior para o interior do elemento, no qual, se faz necessário um estudo adequado do cobrimento da peça que está sendo utilizada, o tipo de material empregado, e o ambiente que a estrutura está inserida.

3.3.1.5 Variação de temperatura

Assim como a umidade, a variação da temperatura provoca uma alteração nas dimensões da peça estrutural provocando tensões não esperadas e conseqüentemente trincas e fissuras no elemento. De acordo com Marcelli (2007), as vigas contínuas de vários tramos ou grandes vão de lajes, estão mais sujeitas as tensões provocadas pela variação da temperatura, principalmente quando existem vínculos que impedem a movimentação da peça.

A depender da propriedade física do material e o quanto a temperatura sofrerá variação é que se sabe a movimentação térmica. De acordo com Thomaz (2020), as fissuras ou trincas podem surgir de maneira diferenciada entre componentes de um elemento em que, essas diferenças, ocorrem por razão da interface entre materiais com diferentes coeficientes de dilatação térmica; exposição de elementos a diferentes solicitações térmicas; gradiente de temperatura ao longo de um mesmo componente.

Ao analisar os diversos efeitos que a variação da temperatura causa, Marcelli (2007) diz que o gradiente térmico é bastante comum de acontecer principalmente em lajes de cobertura. Esse efeito é provocado devido a variações bruscas de temperatura na laje, o que costuma ocorrer nos dias quentes na época do verão, quando cai uma chuva intensa no final do dia. Com isso, o concreto da laje externa foi aquecido durante todo o dia e resfriado de forma brusca pela chuva ocasionando abaulamento devido ao gradiente térmico entre a superfície interna e externa da laje.

Portanto, é fundamental a preocupação por parte dos projetistas em considerar os efeitos da variação da temperatura, pois, seus efeitos atingem diariamente as construções. A solução do problema que Marcelli (2007) destaca está na concepção do projeto. Se não for levado em consideração, via de regra, torna o problema crônico e de difícil solução posterior, levando o proprietário a conviver com ele.

3.3.2 Desagregação do concreto

A desagregação do concreto é bastante recorrente nas estruturas de concreto armado, causada pelos mais diversos fatores. Souza e Ripper (1998), afirmam que a desagregação é a “separação física de placas ou fatias de concreto, com perda de monolitismo e, na maioria das vezes, perda também da capacidade de engrenamento entre os agregados e da função ligante do cimento.”

São amplas as causas que levam o concreto a desagregar, as mais frequentes são: fissuração; calcinação; ataques biológicos e movimentação de formas. Essas causas geram consequências às estruturas como perda da resistência mecânica pela diminuição da sua coesão.

3.3.2.1 Calcinação

A calcinação na construção civil é conhecida como a decomposição do calcário em óxido de cálcio. De acordo com Valente (2014), quando o concreto tem a uma exposição direta ao fogo, o calcário (CaCO_3) é transformado em óxido de cálcio (CaO). Com isso, a calcinação altera a resistência do concreto, deixando a armadura interna propensa a ataques corrosivos.

De acordo com Souza e Ripper (1998), quando o concreto atinge altas temperaturas na ordem de 600°C , sofre degradação proveniente da expansão dos agregados, desenvolvendo

tensões internas fraturando o concreto. Esse fenômeno provoca perda da resistência mecânica do concreto e causa a corrosão das armaduras internas.

3.3.2.2 Ataques biológicos

O aparecimento de vegetação na estrutura de concreto são anomalias biológicas que causam diversos danos na estrutura devido a penetração das raízes por falha do concreto, fissuras e trincas na estrutura.

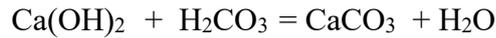
Um dos ataques biológicos mais conhecidos é o bolor. De acordo com Borges (2008), isto se destaca pela presença da umidade facilitada pela fissuração. Souza e Ripper (1998) afirmam que: “Quando as ações biológicas penetram no concreto e se desenvolvem, ocupam um espaço dentro da massa estrutural provocando tensões internas ocasionando fraturas no concreto”.

O desenvolvimento de organismos, como conchas, traz vários danos à estrutura. De acordo com Souza e Ripper (1998) os crustáceos se solidarizam à estrutura e, como acumula água em seu interior, acabam modificando substancialmente a massa da estrutura, resultando em modificações das frequências naturais da mesma.

Outros agentes que Souza e Ripper (1998) destacam, são os cupins e as formigas. Os cupins, além de danificar as esquadrias, quando se instalam em paredes e lajes, através dos conduites, destroem os tijolos para formar sua casa (cupinzeiros), que, em edificações construídas em alvenaria estrutural, provoca diminuição da resistência, ocasionando trincas. Já as formigas, têm o costume de afofar a terra em fundações superficiais, provocando recalque diferencial na edificação.

3.3.3 Carbonatação do concreto

O efeito da carbonatação que ocorre em estruturas de concreto é caracterizado pela diminuição do pH e mudanças na sua microestrutura. Sabe-se que o concreto é composto por micro poros e no seu interior existem as moléculas de água (H_2O) e hidróxido de cálcio ($Ca(OH)_2$). Devido a falhas no concreto caracterizado por fissuras e trincas, essas moléculas reagem com o dióxido de carbono (CO_2) presente no ambiente e com a água formando o ácido carbônico (H_2CO_3), que por ter um baixo pH e ao reagir com o hidróxido de cálcio, forma o carbonato de cálcio ($CaCO_3$), como mostrado na seguinte equação:



De acordo com Souza e Ripper (1998), quando o pH do concreto se reduz a valores abaixo de 9, com a ação do CO₂ presente na atmosfera e com o transporte através dos poros e fissuras, obtém-se a carbonatação do concreto. Esse mesmo autor retrata que há uma relação inversamente proporcional entre o CO₂ presente na atmosfera e o pH uma vez que, quanto maior for a concentração de CO₂ menor o pH e maior será a espessura do concreto carbonatado.

De acordo com Souza e Ripper (1998), se a carbonatação ficasse restrita a uma espessura inferior à da camada de cobertura das armaduras, seria benéfica para o concreto com o aumento da resistência química e mecânica. Entretanto, com a concentração de CO₂ na atmosfera, a porosidade, nível de fissuração do concreto, a carbonatação podem atingir as armaduras e provocar um processo corrosivo.

Para a carbonatação, pode-se fazer o estudo para mensurar a espessura do concreto carbonatado, sabendo que o efeito da carbonatação nas estruturas de concreto diz respeito a sua influência no processo de corrosão das armaduras.

De acordo com Mior Júnior (2013), existem alguns ensaios para medir a espessura carbonatada do concreto, ou até que ponto o revestimento do concreto está comprometido em termos de pH. A utilização de fenolftaleína é uma prática bastante utilizada. Ao aplicar no concreto, a parte sem coloração caracteriza que o concreto está carbonatado, em contrapartida, a parte rósea está normal, como mostrada na Figura 9.

Figura 9 - (a) medição da frente carbonatada e (b) exemplo de concreto carbonatado.



Fonte: Mior Júnior, 2013.

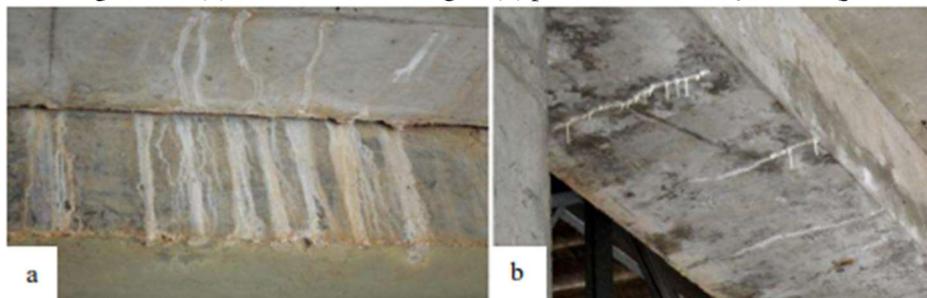
Portanto, os procedimentos a serem feitos para prevenir os efeitos da carbonatação estão descritos na NBR 6118 (ABNT, 2014) no qual, consistem em dificultar o ingresso dos agentes agressivos ao interior do concreto com um revestimento adequado das armaduras, controle de fissuração e utilização de um concreto de baixa porosidade.

3.3.4 Lixiviação e eflorescência

A lixiviação, assim como retrata a NBR 6118 (ABNT, 2014) é o mecanismo responsável por dissolver os compostos da pasta de cimento por ação da água. Sendo assim, o processo da lixiviação caracteriza-se pela entrada de água através dos poros do concreto, dissolvendo o Ca(OH)_2 e Mg(OH)_2 , presentes na pasta de cimento, e trazendo até a superfície caracterizando a formação de estalactites.

De acordo com Martins; Fioriti (2014), a eflorescência é um processo advindo da lixiviação, o qual é caracterizado por manchas brancas na superfície do concreto das estruturas. A lixiviação e eflorescência alteram a coloração do concreto e sua textura, causando prejuízos estéticos podendo evoluir para manifestações patológicas mais sérias, assim como representado na Figura 10.

Figura 10 - (a) eflorescência em viga e (b) processo de lixiviação em viga.



Fonte: Martins; Fioriti, 2014.

Quando o processo de lixiviação se instaura nas estruturas de concreto armado, inicia-se o processo de corrosão por lixiviação. De acordo com Souza e Ripper (1998), este processo consiste na dissolução do hidróxido de cálcio presente no cimento Portland endurecido liberado na hidratação, devido ao ataque de águas, que serão responsáveis pela corrosão, sempre que puderem circular, diminuindo o pH do concreto.

Algumas medidas são adotadas para contornar os efeitos da lixiviação e eflorescência no concreto. Quanto mais poroso o concreto, maior a intensidade da corrosão. Sendo assim, Souza e Ripper (1998) destacam que, o consequente aumento da porosidade, eleva a dissolução, o transporte e a deposição do hidróxido de cálcio dando lugar a decomposição de outros hidratos. Esse mesmo autor destaca que a lixiviação e eflorescência que acontece no concreto são processos similares à osteoporose do esqueleto humano, podendo levar o elemento estrutural, em um curto intervalo de tempo, à ruína.

Portanto, é necessário que o projetista tenha certa preocupação com relação a essa patologia bastante recorrente no concreto, observando as medidas que previnem o surgimento desse fenômeno, assim como disposto na NBR 6118 (ABNT, 2014), que para conter a ocorrência da lixiviação, “recomenda-se restringir a fissuração, de forma a minimizar a infiltração de água, e proteger as superfícies expostas com produtos específicos, como os hidrófugos.”

3.4 Principais tipos de recuperação e reforço em estrutura de concreto armado

As patologias em estruturas de concreto causam muitos danos tanto economicamente como socialmente. Sendo assim, o processo de reparo requer análise de dois pontos importantes: as causas e efeitos. De acordo com Souza e Ripper (1998), “a qualidade dos serviços de recuperação ou de reforço de estruturas de concreto depende da análise precisa das causas que os tornam necessária e do estudo detalhado dos efeitos produzidos.”

Para obtenção de uma boa qualidade no reparo das estruturas é fundamental a execução do tratamento da superfície do concreto. De acordo com Piancastelli (1997) são duas as finalidades básicas do tratamento:

- a) retirar todo material deteriorado ou contaminado;
- b) propiciar as melhores condições de aderência entre o substrato e o material de reparo.

Para a execução do tratamento superficial do concreto e do aço, Souza e Ripper (1998) destacam alguns procedimentos utilizados, tais como as limpezas especiais:

- a) jato de vapor: tem a finalidade exclusiva de limpeza e preparação para aplicação do material de reparo;
- b) jato de ar comprimido: utilizado para a remoção da poeira e das partículas menores que ficam sobre a superfície da estrutura;
- c) jatos de areia: é considerada a principal tarefa na preparação da superfície, sendo utilizado imediatamente após os trabalhos de corte ou apicoamento;
- d) jatos de limalha de aço: esse tipo de jato é menos poluente do que o jato de areia, mas é considerado bem mais abrasivo, não sendo aplicados em armaduras expostas;
- e) queima a maçarico: é destinado a remover sujeiras do tipo graxas e óleos, sendo pouco utilizado por exigir um certo cuidado na execução;

f) escovação manual: é uma técnica utilizada em pequenas superfícies, e em barras de pequenas extensões para a remoção da corrosão.

De acordo com Piancastelli (1997), a superfície de concreto antiga que estará em contato com o novo material de reparo, deve ser apicoado para a retirada da nata de cimento superficial.

Portanto, para o reparo em estruturas de concreto o projetista deve se atentar para as considerações mencionadas anteriormente, garantindo boa qualidade na utilização de um novo material utilizado na reabilitação. Sendo assim, a seção a seguir mostrará o tratamento das estruturas de concreto fissuradas no qual, se faz a identificação da fissura, utilização da técnica de injeção de fissura e costura da fissura. Posteriormente, desenvolve-se os estudos relacionados a reparos nas estruturas com a utilização de argamassa, concreto e graute.

3.4.1 Tratamento de fissuras

As fissuras, como estudadas anteriormente são uma das patologias mais frequentes no concreto, sendo que, sua forma de manifestação descrito por Lapa (2008), pode ser nas três fases do concreto: fase plástica, fase de endurecimento e fase de concreto endurecido. Contudo, as fissuras no concreto trazem o aparecimento de várias outras patologias, mencionadas nos estudos anteriores, que comprometem a funcionalidade das estruturas. Sendo assim, o tratamento da peça fissura é imprescindível, pois o desempenho das estruturas dependem exclusivamente da boa qualidade da peça estrutural. Além disso, observa-se que para o tratamento das fissuras, faz-se inicialmente a identificação do tipo de fissura e posteriormente, a utilização de duas técnicas bastante conhecidas, tais como: técnica de injeção e a costura de fissuras.

3.4.1.1 Identificação do tipo de fissura

Fissuras nas estruturas de concreto podem apresentar-se por diversas causas e magnitude, a identificação do tipo de fissura é primordial para se escolher a técnica mais adequada de terapias. De acordo com Souza e Ripper (1998), o tratamento da fissura está diretamente ligado com a perfeita identificação da causa da fissura, particularmente no que diz respeito à variação da espessura, e a necessidade de executar reforço na estrutura.

De acordo com Cánovas (1988) *apud* Santos (2019), a fissura pode aparecer das

seguintes causas: retração; expansão; cura deficiente; variações de temperatura; ataques químicos; excesso de cargas; recalque diferencial. Assim, conhecendo essas causas sabe-se o nível que se encontra a fissuração.

Para a caracterização das fissuras, Souza e Ripper (1998) trazem dois tipos: as fissuras ativas e fissuras passivas. Na primeira, o que pode ser feito é a eliminação da causa que a gerou tornando a fissura passiva, pois, não faz sentido eliminar uma fissura ativa sem combater a causa, provavelmente, abriria em outro lugar. Já as fissuras passivas, além do estabelecimento do dispositivo protetor, tem-se que garantir que a peça volte a funcionar como um todo, sendo utilizado um material resistente como a injeção de resina epoxídica.

3.4.1.2 Técnica de injeção de fissuras

A técnica de injeção caracteriza-se pelo enchimento das bordas para garantir o perfeito fechamento das estruturas fissuradas como também, a garantia de uma boa distribuição de cargas na estrutura.

Para obter-se êxito nesta técnica, Souza e Ripper (1998), dizem que a correta seleção do material, à experiência do aplicador e principalmente a escolha correta da bomba injetora no qual, varia conforme a profundidade e espessura da fissura, garantirá o sucesso do reparo.

A boa escolha do material para o tratamento de um quadro fissuratório é fundamental. De acordo com Souza e Ripper (1998), as resinas epoxídicas são as mais utilizadas no caso que se queira injetar fissuras inativas, por não retrair, ser de baixa viscosidade, ter alta capacidade registente e aderente. Contudo, a seleção do tipo de resina epoxídica deve observar três aspectos:

- a) viscosidade;
- b) módulo de elasticidade;
- c) coeficiente de polimerização.

Nesse enfoque, Pimentel e Teixeira (1978) *apud* Souza e Ripper (1998), em termos de viscosidade e a depender da espessura da fissura prescreve:

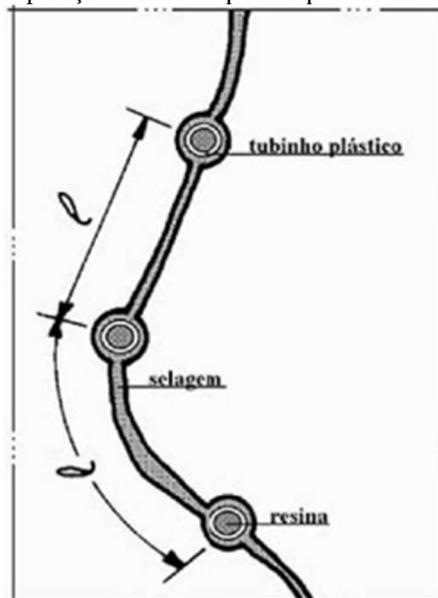
- a) aberturas < 0,2 mm, resina epóxi líquida bastante fluida com viscosidade em torno dos 100 cps a 20°C;
- b) aberturas entre 0,2 mm e 0,6 mm, resinas epóxi líquida com viscosidade máxima de 500 cps a 20°C;

- c) abertura entre 0,6 mm e 3,0 mm, resina epóxi líquida com viscosidade máxima de 1500 cps a 20°C;
- d) aberturas maiores que 3,0 mm, resina epóxi puras ou com cargas.

O passo a passo para o tratamento de fissuras passivas, como descrito por Souza e Ripper (1998) é o seguinte:

- a) “abertura de furos ao longo do desenvolvimento da fissura, com diâmetro da ordem dos 10 mm e não muito profundos (30 mm), obedecendo a espaçamento L que deve variar entre os 50 mm e os 300 mm, em função da abertura da fissura (tanto maior quanto mais aberta for), mas sempre respeitando um máximo de 1,5 vezes a profundidade da fissura;
- b) exaustiva e consciente limpeza da fenda – ou do conjunto de fissuras, se for o caso – e dos furos, com ar comprimido, por aplicação de jatos, seguida aspiração, para remoção das partículas soltas, não só as originalmente existentes (sujeiras), mas também as derivadas da operação de furação (Figura 11);
- c) nos furos, são fixados tubinhos plásticos, de diâmetro um pouco inferior ao da furação, com parede pouco espessa, através dos quais será injetado o produto. A fixação é feita através do próprio adesivo que selará o intervalo da fissura entre dois furos consecutivos;
- d) a selagem é feita pela aplicação de uma cola epoxídica bicomponente, em geral aplicada à espátula ou colher de pedreiro. Ao redor dos tubos plásticos, a concentração da cola deve ser ligeiramente maior, de forma a garantir a fixação deles;
- e) a selagem é feita pela aplicação de uma cola epoxídica bicomponente, em geral aplicada à espátula ou colher de pedreiro. Ao redor dos tubos plásticos, a concentração da cola deve ser ligeiramente maior, de forma a garantir a fixação deles;
- f) testado o sistema e escolhido o material, a injeção pode então iniciar-se, tubo a tubo, sempre com pressão crescente, escolhendo-se normalmente como primeiros pontos aqueles situados em cotas mais baixas (Figura 12).”

Figura 11 - Preparação da fenda para o procedimento de injeção.



Fonte: Souza e Ripper, 1998.

Figura 12 - Aplicação de injeção de resina epóxi.

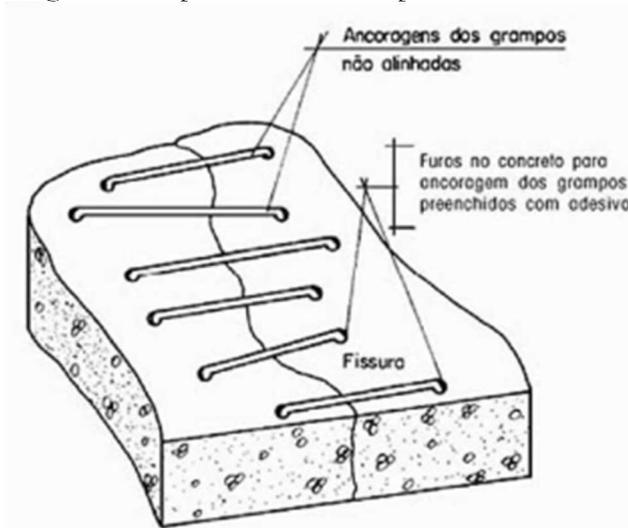


Fonte: Treinotec Engenharia, não datada.

3.4.1.3 Costura das fissuras

De acordo com Souza e Ripper (1998), a técnica de costura das fissuras (Figura 13) conhecido também como grampeamento é executada quando as fissuras ativas desenvolvem segundo linhas isoladas e por deficiências localizadas de capacidade resistente. Essas armaduras, conhecidas como grampos, são executadas para resistir aos esforços de tração.

Figura 13 - Reparo de uma fissura por costura.



Fonte: Souza e Ripper, 1998.

As etapas para executar a técnica de costura das fissuras, descrito por Souza e Ripper (1998) são:

- a) “sempre que possível, descarregamento da estrutura, pois o processo não deixa de ser um esforço;
- b) execução de berços na superfície do concreto, para assentamento das barras de costura, incluindo, se a opção for por ancoragem mecânica, a execução de furação no concreto para amarração das extremidades dos grampos, sendo estes buracos devidamente cheios com adesivos apropriados;
- c) se a opção for essa, injeção da fenda com resinas epoxídicas ou cimentícias, fazendo a selagem a um nível inferior ao do berço executado. O grampeamento deve ser, sempre e necessariamente, posterior à injeção;
- d) colocação dos grampos e complementação dos berços executados com o mesmo adesivo utilizado para selagem;
- e) as fendas devem ser costuradas nos dois lados da peça, se for o caso de se estar lidando com peças tracionadas.”

Portanto, a técnica de grampeamento de fissuras é bastante empregada quando se tem fissuras ativas que não são executadas com a técnica de injeção descrita anteriormente. Sendo assim, Souza e Ripper (1998), advertem que se a aplicação da técnica não tiver perfeita aplicação, aumenta a rigidez da peça localizadamente e, se o esforço gerador da fenda continuar, produzirá uma nova fissura. Para minimizar estes efeitos, os grampos devem ser dispostos de forma a não introduzirem esforços em linha.

3.4.2 Reparos em estruturas

Reparo em estruturas de concreto danificadas consiste em corrigir os danos causados por patologias que destroem a integridade das estruturas. De acordo com Granato (2002), a escolha do material a ser utilizado no reparo é importante e complexo, pois, requer conhecimento da característica do material, requisito para sua aplicação e principalmente o método de aplicação.

A classificação dos serviços de reparo destacados por Souza e Ripper (1998) são:

- a) rasos ou superficiais: são aqueles em que a profundidade é inferior a 2 cm, sendo considerados pequenas áreas os que são executados em superfícies de até 15 cm²;
- b) reparos semiprofundos: a profundidade está entre 2,0 e 5,0 cm, normalmente atingindo as armaduras. Ao redor das armaduras a ser substituída deve ser efetuada limpeza de 2,0 a 3,0 cm de profundidade;
- c) reparos profundos: atingem profundidades superiores a 5,0 cm. A execução desse tipo de reparo se dá com o preparo da cavidade, removendo-se todo o concreto danificado.

Portanto, sabendo a classificação dos serviços de reparo inicia-se a execução com a escolha certa do material conforme sua característica, que nesse estudo será tratado sobre três tipos de reparos, como: reparos com argamassa, reparo com concreto e reparo com graute.

3.4.2.1 Reparo com argamassa

A técnica de reparo com argamassa é bastante utilizada em regularização de lajes e reconstituição de quinas quebradas em elementos estruturais. De acordo com Souza e Ripper (1998), essa técnica é empregada nos casos em que o que está deteriorado é a camada de concreto de cobertura das armaduras. Caso apresente algum problema nas armaduras, tem que ser sanado antes de utilizar a técnica. Esta técnica é utilizada em superfícies de qualquer tamanho sendo que sua limitação está na profundidade, alcançando no máximo 5,0 cm, tendo uma relação com a área (ou seja, quanto maior a área menor será a profundidade de alcance).

O material utilizado para execução dessa técnica, descrito por Souza e Ripper (1998), vai depender das causas que o tornam necessário, natureza do serviço e a finalidade estrutural. Para ter uma boa qualidade do serviço um requisito é eliminar os pontos fracos, deixando somente material com resistência adequada, livre de poeiras, óleos e graxas.

Os tipos de argamassa utilizadas no reparo é definida, de acordo com Souza e Ripper (1998), em função da deterioração ocorrida, da qualidade e do custo. Os tipos que podem ser utilizadas são três: argamassa de cimento e areia; argamassa com polímero; e argamassa epoxídica.

3.4.2.2 Reparo com concreto

De acordo com Souza e Ripper (1998), a técnica de reparo com concreto é bastante utilizada principalmente em elementos estruturais submersos e em locais onde a acessibilidade é difícil. É o tipo de técnica que utiliza uma baixa quantidade de cimento, cerca de 150 kg/m³ com resistência de até 20 MPa que, podendo ser reduzida com a utilização de um elevado fator água/cimento imprescindível pra deixar o concreto fluido. Como as partículas de agregado graúdo estão em constante contato entre si, a retração é mais difícil de acontecer e dessa forma, se tornando propício para reparos em estruturas de concreto já endurecidas.

Segundo Souza e Ripper (1998), essa técnica consiste nas seguintes etapas:

- a) “preenche-se previamente as fôrmas (ou a cavidade) com agregado graúdo, que deve ser devidamente compactado;
- b) umedece-se o agregado, ou mesmo inunda-se a cavidade a ser reparada com água;
- c) injeta-se, sob pressão, argamassa fluida de cimento, pozolana e areia, até a total expulsão da água e o preenchimento de todos os vazios.”

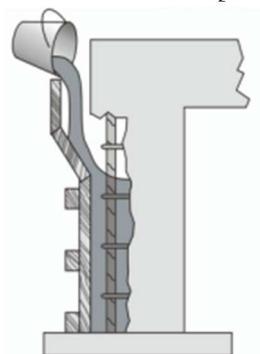
De acordo com Neville (1983) *apud* Souza e Ripper (1998), o bombeamento é feito sob pressão com tubos e rasgos laterais e diâmetro de 35 mm, iniciando com a parte mais profunda da cavidade. E para manter a argamassa nivelada, devem-se levantar gradualmente os tubos durante a injeção.

3.4.2.3 Reparos com graute

O graute é bastante utilizados para reparos estruturais, chumbamento de equipamentos, ancoragem de tirantes, etc. De acordo com Granato (2002), é caracterizado por argamassas industrializadas de alta fluidez, baixa permeabilidade, ausência de retração e elevada resistência.

Segundo Souza e Ripper (1998), este procedimento é eficaz em elementos estruturais devido à rapidez de desforma para a utilização da estrutura. Este mesmo autor retrata que o graute é utilizado em reparos profundos e semiprofundos (Figura 14) e adverte que a superfície que receberá o material deve estar úmida como também deve-se proceder a cura úmida por três dias.

Figura 14 - Grauteamento de pilar.



Fonte: Granato, 2002.

3.4.3 Técnicas de impermeabilização em estruturas

Quando uma estrutura de concreto armado está exposta diretamente as ações do tempo, como a umidade, há a necessidade de uma boa impermeabilização para isolar e proteger a estrutura da presença de manchas, infiltrações, carbonatação do concreto, corrosão das armaduras, que posteriormente trará danos à estrutura caso não seja executado o processo

correto da impermeabilização.

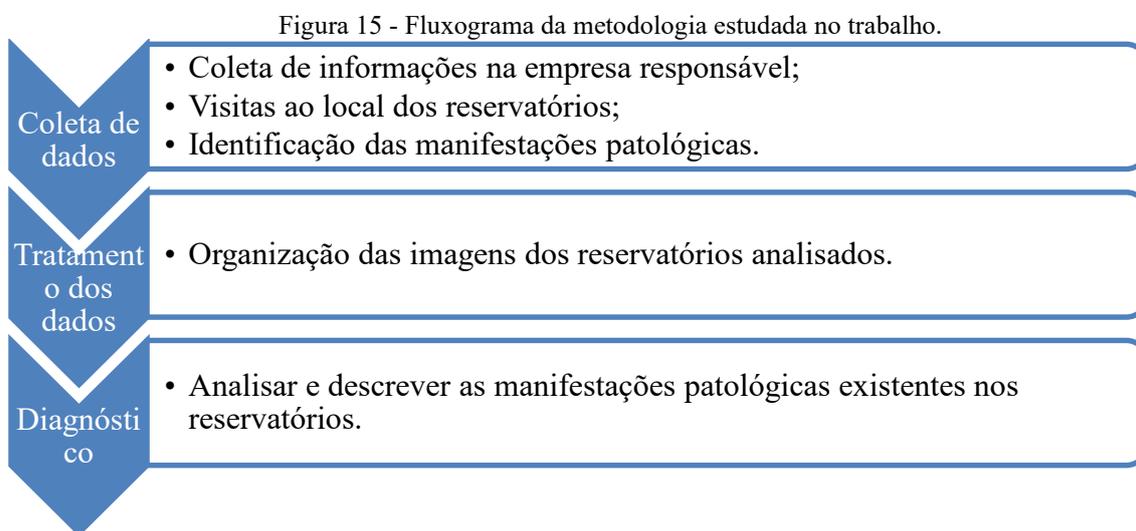
Sendo assim, existem diversos tipos de impermeabilizantes destinados para cada caso específico. De acordo com Monge (2002), as técnicas de impermeabilização em estruturas podem ser:

- a) por cristalização: com a presença de poros no processo de hidratação do concreto e aparecimento de fissuras e trincas permitindo a passagem de vapor e líquido, a impermeabilização por cristalização tem a função de preencher os vazios, migrando adicionalmente, devido ao seu perfil iônico, para dentro dos capilares. Esse processo é em forma de pó, misturado à água e aplicado com rolo que preenche, através da formação de extensas moléculas, os capilares e as fissuras devido à retração do concreto;
- b) por aderência: esse tipo de impermeabilização é a base de cimento portland e areia muito fina de quartzo ou sílica. Os aditivos utilizados ativam o produto de forma a torná-lo livres de vazios ou poros;
- c) por injeção: o processo de impermeabilização por injeção como o poliuretano hidroexpansivo, foi desenvolvido para sanar problemas de vazamento de água devido a trincas, fissuras, ninhos de concretagem, juntas frias e juntas de dilatação. A técnica de impermeabilização por injeção é bastante utilizada para acabar com minações de águas em barragens, minas, túneis, reservatórios, caixas de passagem, eletrodutos, cabos de força e telefones que tenham a presença de água. Quando o poliuretano hidroexpansivo entra em contato com a água ou umidade, promove uma relação de expansão quase que instantânea, formando uma barreira sólida de espuma com células fechadas, preenchendo e impermeabilizando trincas, fissuras e poros por onde a água tem acesso.

Diante do que foi mencionado, o processo de impermeabilização tem grande importância nas estruturas de concreto armado, prevenindo das intempéries que causam danos diretamente na sua funcionalidade, conforto e garantindo condições de habitabilidade nas construções.

4 METODOLOGIA

A metodologia realizada neste trabalho foi um estudo de caso dividido em três fases. A primeira fase foi coletar o máximo de dados referente aos reservatórios sob domínio da empresa responsável pelo abastecimento da cidade. Em seguida, foram feitas visitas *in loco* para registrar, por meio de câmera convencional, os reservatórios estudados; organização das imagens e por fim, foi descrito o diagnóstico das manifestações patológicas existentes nos reservatórios, bem como, feita a proposição do reparo. A Figura 15 mostra de forma resumida a metodologia estudada.



Fonte: Autoria própria, 2022.

4.1 Coleta de dados

O Município de São José de Piranhas, localizado no alto sertão da Paraíba com população estimada pelo IBGE em 20.406 habitantes, possui um total de sete reservatórios sob a responsabilidade da Companhia de Água e Esgoto da Paraíba (CAGEPA), distribuídas na parte urbana da Cidade. Sendo assim, nesta primeira etapa do projeto foi coletado o maior número de dados dos reservatórios na CAGEPA com o intuito de obter o máximo de informações a respeito do tipo, funcionalidade, volume e material utilizado nos reservatórios.

Ao fazer visita no setor responsável pelo abastecimento da Cidade para obtenção dos projetos, o responsável pelo setor informou que não há projetos dos reservatórios mas, continha

todos os dados referentes a volume, localização, material, tipo e se os mesmos estavam sendo utilizados ou não, assim como descrito na Tabela 3.

Tabela 3 Informações preliminares dos reservatórios.

ORDEM	TIPO	VOLUME (m ³)	LOCALIZAÇÃO	USO	MATERIAL
01	Elevado	50	Totô Morais	Em uso	Concreto armado
02	Elevado	50	Mirante	Em uso	Concreto armado
03	Enterrado	10	Mirante	Em uso	Concreto armado
04	Elevado	150	Alto da Boa Vista	Em uso	Concreto armado
05	Enterrado	10	Canaã	Em uso	Concreto armado
06	Elevado	100	Novo Canaã	Em uso	Aço
07	Enterrado	10	ETA	Em uso	Concreto armado

Fonte: Autoria própria, 2022.

Após a coleta de dados na empresa, foram feitas visitas aos locais para verificação e, com ajuda de uma câmera convencional, fazer o registro fotográfico das manifestações patológicas existentes nos reservatórios.

Coletadas essas informações, registros fotográficos, e por meio do estudo da bibliografia disponível, pode-se descrever as patologias detectadas e propor soluções para sua reabilitação dos reservatórios. Cada reservatório nessa fase foi separado e estudado individualmente.

4.2 Tratamento dos dados

Nessa etapa, depois que todos os dados dos reservatórios, foram coletados as imagens, organizando para ajudar na identificação dos problemas patológicos existentes. Separando cada imagem conforme sua estrutura e tipo.

4.3 Diagnóstico

Nesta fase, a análise das patologias resultou no diagnóstico das manifestações

encontradas. De acordo com Lichtenstein (1986), o diagnóstico tem como objetivo entender, através dos dados coletados, o porquê das manifestações patológicas. Sendo assim, através dos registros fotográficos dos reservatórios estudados foram descritas as causas e origens das manifestações patológicas encontradas

5 RESULTADOS E ANÁLISES

Nesta capítulo, será mostrado as patologias dos reservatórios R01 e R02 estudados bem como técnicas de reparo para solucionar tais manifestações.

5.1 Manifestações patológicas encontradas nos reservatórios

Para a análise das manifestações patológicas nos reservatórios, foi feito a nomenclatura na seguinte ordem: R01 (reservatório localizado no Bairro Toto Morais), R02 (reservatório localizado no Bairro Mirante).

5.1.1 Reservatório 01

O reservatório R01 (Figura 16) localizado no Bairro Totô Morais é caracterizado como um reservatório elevado construído em concreto armado e possui um volume de 50 m³. Este reservatório tem a responsabilidade de fornecer o abastecimento para as seguintes áreas: Bairro Totô Morais, Conjunto Frei Damião, Catolezinho e o lado leste do Bairro Zuza Holanda.

Figura 16 - Reservatório R01.



Fonte: Autoria própria, 2022.

Neste trabalho, fez-se uma análise detalhada de todas as manifestações patológicas detectadas em torno da supraestrutura do reservatório. Na Figura 16 já pode-se ver que a anomalia mais visível são as manchas escuras ao redor do reservatório.

Figura 17 - Deslocamento do concreto, fissuração e exposição das armaduras no pilar.



Fonte: Autoria própria, 2022.

Na Figura 17 é mostrado manifestações patológicas bem frequentes em estruturas de concreto armado que é o deslocamento do cobrimento de concreto ocasionado pelo efeito da carbonatação do concreto devido a fissuras existentes em torno do pilar, levando a exposição da armadura e conseqüentemente um processo corrosivo.

Figura 18 - Deslocamento do concreto e exposição das armaduras na viga de travamento dos pilares.



Fonte: Autoria própria, 2022.

A Figura 18 mostra as vigas de travamento dos pilares, que tem a função de conceder estabilidade nos pilares de sustentação do reservatório. Pode-se perceber que, assim como visto na Figura 17, há fissuras em torno das vigas e deslocamento do cobrimento de concreto devido à carbonatação, levando as armaduras a iniciar um processo corrosivo.

Figura 19 – Deslocamento do concreto e exposição das armaduras na parede do reservatório.



Fonte: Autoria própria, 2022.

Nesta Figura, pode-se perceber que há um deslocamento do cobrimento de concreto na parede do reservatório, expondo a armadura e podendo trazer problemas do tipo vazamento e comprometer o volume útil do reservatório. Depois de feitas as análises iniciais das imagens, e utilizando a bibliografia existente, pode-se chegar aos seguintes diagnósticos:

- a) manchas: o aparecimento de manchas ao redor de todo o reservatório é decorrente da exposição do mesmo aos intempéries. De acordo com Shirakawa *et al* (1995) *apud* Santana (2017), as manchas são indícios de problemas com bolor e mofo. Para o aparecimento de bolor, deve-se ter umidade suficiente para que os esporos dos fungos possam germinar;
- b) fissuras: as fissuras encontradas nos pilares de sustentação como mostrado na Figura 17, são decorrentes da retração do concreto, que é a diminuição do volume de concreto devido a perda excessiva de água no interior. De acordo com Souza e Ripper (1998), vários são os motivos para sua ocorrência e um deles é na fase da execução, que na época da concretagem o responsável técnico não levou em consideração a umidade do ar, temperatura, ventos excessivos, problemas que levam o concreto a retrair;

- c) carbonatação: o efeito da carbonatação do concreto advém de um estado de fissuração da peça estrutural no qual, o dióxido de carbono (CO_2), presente na atmosfera, reage com o hidróxido de cálcio (Ca(OH)_2) e água, presentes no concreto, formando o ácido carbônico (H_2CO_3), por ter um pH baixo e ao reagir com o hidróxido de cálcio forma o carbonato de cálcio (CaCO_3). De acordo com Souza e Ripper (1998), há uma relação inversamente proporcional entre o CO_2 presente na atmosfera e o pH, ou seja, quanto maior for a concentração de CO_2 na atmosfera menor será o pH do concreto e consequentemente maior será a área carbonatada;
- d) deslocamento do concreto: é o tipo de patologia decorrente de um estado de fissuração de uma peça estrutural. De acordo com Souza e Ripper (1998), é a deficiência de projeto pelo estado de fissuras, que resulta no deslocamento da capa que reveste as armaduras levando a estados corrosivos;
- e) corrosão das armaduras: pode-se perceber que em todas as imagens em que se mostra a estrutura com armaduras expostas, há um processo corrosivo que leva a uma diminuição, no decorrer do tempo, no diâmetro da barra de aço e consequentemente perdas na eficiência da estrutura. Como mostrado na bibliografia, esse tipo de patologia é decorrente do estado de fissuração da peça estrutural, deslocamento da capa que reveste o aço, permitindo o acesso de agentes corrosivos.

5.1.2 Reservatório 02

O reservatório R02 localizado no bairro Mirante é caracterizado como um reservatório tubular construído em concreto armado pré-moldado e possui um volume de 50 m^3 . Este reservatório é responsável pelo abastecimento somente do Bairro Mirante e encontra-se na parte mais alta desse bairro.

Figura 20 - Reservatório R02.



Fonte: A autoria própria, 2022.

Este tipo de reservatório é fabricado em anéis de concreto pré-moldado de acordo com a necessidade de cada projeto. No processo de montagem, os anéis são executados de forma que as juntas de encontro não permitam vazamentos. Nesta imagem, pode-se perceber que as patologias mais visíveis são as manchas ao redor do reservatório.

Figura 21 - Vazamento nas juntas de encontro dos anéis.



Fonte: Autoria própria, 2022.

Nesta imagem pode-se perceber de início que, além das manchas ao redor do reservatório, permitindo que a estrutura fique com uma má aparência, há vazamento nítido ao redor dele, especificamente na junta entre o barrilete e o reservatório, levando a perdas significativas no volume útil.

Ao analisar o reservatório e consultando a bibliografia existente para um melhor entendimento, pode-se chegar ao seguinte diagnóstico:

- a) manchas: assim como no reservatório R01, as manchas são provenientes de exposição do reservatório aos intempéries. Essas manchas são provenientes da umidade que fazem os fungos germinarem em torno do reservatório;
- b) infiltração: pode-se notar que o vazamento de água na junta de encontro entre os anéis é proveniente de um quadro de fissuração devido a má execução da junta de encontro e com isso, permitindo perdas no volume útil do reservatório.

5.2 Técnicas de reparo nos reservatórios

Nesta fase, serão mostradas técnicas de reparo nas estruturas danificadas, propondo soluções que servirão como base para trabalhos futuros. Será dividido conforme as manifestações detectadas no ítem anterior, tais como: fissuras; manchas; carbonatação;

deslocamento do concreto; corrosão das armaduras e vazamento de água.

5.2.1 Fissuras

Como visto, as fissuras em estruturas de concreto são motivadas por várias causas como: variação da temperatura; fator água/cimento; forma de execução; etc. Para o tratamento das fissuras aparentes nas estruturas, Pimentel e Teixeira (1978) *apud* Souza e Ripper (1998), destacam algumas soluções com utilização da injeção com resinas, que vai depender da viscosidade e da espessura da fissura, sendo:

- a) aberturas < 0,2 mm, resina epóxi líquida bastante fluida com viscosidade em torno dos 100 cps a 20°C;
- b) aberturas entre 0,2 mm e 0,6 mm, resinas epóxi líquida com viscosidade máxima de 500 cps a 20°C;
- c) abertura entre 0,6 mm e 3,0 mm, resina epóxi líquida com viscosidade máxima de 1500 cps a 20°C;
- d) aberturas maiores que 3,0 mm, resina epóxi puras ou com cargas.

A forma de aplicação desta técnica encontra-se no item 3.4.1.2 do presente trabalho.

5.2.2 Manchas

O aparecimento das manchas nos reservatórios é devido à umidade existente. Para combater a umidade nos reservatórios, algumas medidas são tomadas, sendo que, não adianta usar somente um concreto com uma baixa porosidade é necessário um tratamento que proporcione impermeabilidade.

Como os reservatórios tem uma grande exposição às variações de temperatura, Borges (2008), afirma que a impermeabilização a ser utilizada não deve ser rígida, considerando a movimentação da estrutura devido a variação da temperatura. Contudo, a manta asfáltica é um material bastante recomendado para a impermeabilização.

O procedimento adotado segue o estudo feito por Borges (2008), utilizando manta asfáltica e executando na seguinte ordem:

- a) limpeza do substrato podendo, para o concreto úmido, ser utilizado jatos de ar comprimido ou água fria;

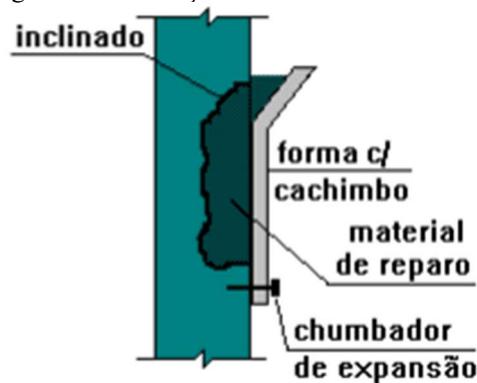
- b) aplicação de tinta asfáltica (primer) para garantir a aderência da manta;
- c) aplicação da manta na parede e na laje de fundo.

5.2.3 Desplacimento do concreto

Para a recuperação das estruturas que estão com deslocamento do concreto que reveste as armaduras, segue as recomendações descritas por Piancastelli (1997), que utiliza o graute para sua reconstrução. Como o deslocamento do concreto nas estruturas dos reservatórios ultrapassa a camada de cobertura das armaduras, Piancastelli (1997), recomenda:

- a) tratar o substrato e umedecê-lo, sem saturá-lo;
- b) instalar formas com cachimbo (Figura 22);
- c) preparar o graute, conforme a especificação do fabricante;
- d) lançar o graute nas formas e adensá-lo;
- e) antes do endurecimento do graute, desformar e, cuidadosamente, retirar seu excesso;
- f) executar a cura.

Figura 22 - Instalação da forma com cachimbo.



Fonte: Piancastelli, 1997.

De acordo com Piancastelli (1997), a superfície do concreto velho que estará em contato com o material de reparo, deve ser apicoado para a retirada da nata de cimento superficial. Deve-se cuidar para que o contorno das aberturas sejam bem definidas e as faces laterais favoreçam a aderência.

5.2.4 Corrosão das armaduras

Devido a um quadro fissuratório na estrutura que leva o concreto a deslocar deixando o aço descoberto, inicia-se o processo de corrosão das armaduras. Quando isso acontece, algumas medidas são tomadas para sua restauração: para reparos com acréscimo de barras, de acordo com Souza e Ripper (1998), adota-se a necessidade de adição de uma nova barra sempre que a redução da seção da barra tiver ultrapassado 15%. Reparos sem a necessidade de acréscimo de barras, utiliza inibidores de corrosão nas armaduras expostas e posteriormente a execução do reparo, respeitando o cobrimento mínimo das armaduras.

Para a recuperação das estruturas corroídas nos reservatórios devido à carbonatação, sugere-se aferir o quanto de área de aço foi corroído. Caso não ultrapasse 15%, o tratamento será feito sem a necessidade de acréscimo de barras, executando o reparo conforme Piancastelli (1997) recomenda:

- a) retirar todo o concreto desagregado;
- b) limpar a armadura retirando todos os produtos da corrosão com escovas de cerdas adequadas;
- c) aplicar sobre a barra polímeros inibidores de corrosão (Sika Top 108);
- d) executar o reparo conforme a profundidade afetada.

5.2.5 Infiltração

O tratamento das infiltrações nos reservatórios, constitui-se basicamente na impermeabilização dos mesmos. De acordo com Borges (2008) *apud* Monge (2002), a impermeabilização pode ser executada de acordo com a seguinte ordem:

- a) corte e abertura das juntas de concretagem;
- b) preenchimento das juntas com argamassa impermeabilizante sobre aplicação prévia de material que garanta impermeabilização;
- c) uso de mastic flexível ao redor de tubos de entrada e saída de água;
- d) aplicação do impermeabilizante seguindo as orientações do fabricante com o número de demãos necessária;
- e) nas fissuras com comportamento dinâmico e com infiltrações de água pode-se aplicar injeção de espuma de poliuretano hidroativado e na sequência injeção de gel de

poliuretano para selagem das mesmas.

Vale lembrar que Borges (2008) destaca que para reservatórios com paredes antigas, precisa-se de uma regularização utilizando argamassa antes de receber a impermeabilização. Usando mantas de PVC, faz-se necessário apenas uma limpeza interna antes da colocação da mesma.

Na Tabela 4, apresenta-se um resumo dos resultados e soluções propostas para os dois reservatórios avaliados.

Tabela 4 - Resumo dos resultados obtidos.

RESERVATÓRIOS	PATOLOGIAS DETECTADAS	TÉCNICAS DE REPARO
R01	Manchas	Impermeabilização da superfície
	Fissuras	Injeção com resina
	Deslocamento do concreto	Reparo com utilização de graute
	Corrosão das armaduras	Aplicação de polímeros inibidores de corrosão
R02	Manchas	Impermeabilização da superfície
	Infiltração	Impermeabilização da superfície

Fonte: Autoria própria, 2022.

6 CONCLUSÃO

Com base nos resultados analisados, pode-se descrever que as patologias 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. Tendo o estudo como objetivo desenvolver o levantamento das principais manifestações patológicas que afetam os reservatórios e fornecer técnicas de reparo, é possível observar alguns fatores, descritos a seguir.

Feitas as análises das manifestações patológicas no estudo, pode-se destacar que as principais patologias foram: fissuras ao redor das estruturas; manchas; deslocamento do concreto; corrosão das armaduras e infiltrações. Tais patologias serviram de base para avaliar soluções de reparos nas estruturas.

Sabe-se que as fissuras são patologias muito recorrentes nas estruturas de concreto e são causadas por vários fatores, tais como: retração do concreto; reação expansiva; corrosão das armaduras; variação de temperatura, etc. Dentre as técnicas mencionadas, no presente estudo, foi proposto a injeção com resina que depende da viscosidade e da espessura da fissura.

Como descrito, é fundamental o processo de impermeabilização das estruturas expostas em ambientes com alto índice de umidade para isolar e proteger das manifestações patológicas do tipo manchas, infiltrações e carbonatação, que levam ao deslocamento do concreto juntamente com a exposição das armaduras.

A corrosão das armaduras é o tipo de patologia que mais atinge as estruturas de concreto armado. O processo corrosivo inicia-se com o aparecimento de manchas na região do concreto, deslocamento da camada de concreto que reveste as armaduras devido, por exemplo, a carbonatação, e posteriormente diminuição da seção das armaduras com o processo de corrosão. Sendo assim, para o tratamento da corrosão das armaduras, sugere-se aferir o quanto de área de aço foi corroído. Caso não ultrapasse 15% da sua área, o tratamento será utilizando inibidores de corrosão. Feito isso, para o reparo do concreto deslocado, sugere-se a utilização do graute para sua reconstrução mantendo o cobrimento recomendado e evitando um processo corrosivo nas armaduras.

Nesse sentido, o objetivo do estudo foi alcançado tendo em vista a realização do levantamento das principais manifestações patológicas encontradas nos reservatórios e apresentando técnicas de reparos para essas patologias a fim de alcançar a reabilitação, como também, o conhecimento a respeito das principais técnicas mencionadas, para aplicação em

diversas estruturas de concreto danificadas

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS-ABNT. **NBR 12217**: Projeto de reservatório de distribuição de água para abastecimento público – Procedimento. Rio de Janeiro, 1994.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS-ABNT. **NBR 15575-2**: Edificações habitacionais – Desempenho parte 2: Requisitos para os sistemas estruturais. Rio de Janeiro, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS-ABNT. **NBR 15577-1**: Agregados – Reatividade álcali-agregado parte 1: Guia para avaliação da reatividade potencial e medidas preventivas para uso de agregados em concreto. Rio de Janeiro, 2018.

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

AECWEB. **Patologias do concreto**. Disponível em:

<https://www.aecweb.com.br/revista/materias/patologias-do-concreto/6160>. Acesso em: 4 de março de 2022.

BRISSA, Rodrigo César Rissari. **Sistemas de impermeabilização e proteção de estruturas de Concreto armado de reservatórios de água tratada atacados por cloretos**. 81f. Monografia (Especialização em Construção Civil). Universidade Federal de Minas Gerais. Minas Gerais, dezembro de 2008.

BORGES, Micheline Gonçalves. **Manifestações patológicas incidentes em reservatórios de água elevados executados em concreto armado**. Monografia (Engenharia Civil). Universidade Estadual de Feira de Santana. Feira de Santana, 2008.

GRANATO, José Eduardo. **Patologia das Construções**. Documento eletrônico. Disponível em <<http://irapuama.dominiotemporario.com/doc/Patologiadadasconstrucoes2002.pdf>>. Acesso em 12 jan. 2022.

HELENE, Paulo Roberto do Lago. **Contribuição ao Estudo Da Corrosão em Armaduras de Concreto Armado**. 248f. Tese (Professor Livre Docente de Engenharia de Construção Civil) Universidade de São Paulo. São Paulo, 1993.

JÚNIOR, Casemiro Mior. **Deterioração de Elementos de Cobertura em Concreto Armado: Diagnóstico com Enfoque na Corrosão de Armaduras**. 93f. Trabalho de Diplomação (Engenheiro Civil) Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2013.

LAPA, José Silva. **Patologia, recuperação e reparo das estruturas de Concreto**. 56f. Monografia (Especialização em Construção Civil) Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2008.

LICHTENSTEIN, Norberto Blumenfeld. **Patologia das Construções procedimento para diagnóstico e recuperação**. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. [19--?].

MARCELLI, Maurício. **Sinistros na construção civil: causas e soluções para danos e prejuízos em obras**. São Paulo: Pini, 2007

MARTINS, J. F. A.; FIORITI, C. F. **Manifestações patológicas nos sistemas estruturais em Concreto armado de uma edificação pública – núcleo Morumbi da UNESP**. 1º Congresso Brasileiro de Patologia das Construções. Foz do Iguaçu-PR, 2014.

MONGE, Carlos Alberto. A impermeabilização em obras subterrâneas: Conheça o mecanismo de ação da água freática nas estruturas, assim como as estratégias para sua neutralização. **Rev. Recuperar**. Janeiro / Fevereiro, 2002.

PIANCASTELLI, Elvino Mosci. **Patologia e terapia das estruturas: Intervenções de Reparo (Restaurações)**. Universidade Federal de Minas Gerais. Minas Gerais, 1997.

RAMOS, João Miguel Giesta. **Análise e Dimensionamento de Reservatórios Semi-Enterrados Circulares de Betão Armado Pré-Esforçado**. 193f. Dissertação (Mestre em Engenharia Civil) Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Junho de 2010.

SANTANA, Gabrielle Alves. **Levantamento de manifestações patológicas em reservatórios de concreto armado no município de Alegrete/RS**. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Pampa, Alegrete, 2017.

SANTOS, Mateus Dierings Tanus dos. **Manual Básico para Identificação de Fissuras mais Comuns em Estruturas de Concreto Armado para Engenheiros Recém-Formados**. 97f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil). Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2019.

SOARES, Arthur Pimentel Falcão; VASCONCELOS, Livia Tenório; NASCIMENTO, Felipe Bomfim Cavalcante do. Corrosão Em Armaduras de Concreto. **Rev. Ciências exatas e tecnológicas**. v. 3 | n.1 | p. 177-188 | Maceió, 2015.

SOUZA, V. C. M.; RIPPER, T. **Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto**. 1. ed. São Paulo: Pini, 1998.

SOUZA, Anne Karolline Lamana de. **Identificação das Manifestações Patológicas em Reservatório de Água Executado em Concreto Armado em Condomínio Unifamiliar – Estudo de Caso**. 45f. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialista em Patologia das Construções) Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2014.

TREINOTEC ENGENHARIA. **Sistemas de Injeção**. Disponível em: <https://treinotecengenharia.com.br/tecnologias-sistemasdeinjecao/>. Acesso em: 4 de março de 2022.

THOMAZ, Ercio. **Trincas em edifícios**: causas, prevenção e recuperação. - 2. ed. rev. e ampl. -São Paulo: Oficina de Textos, 2020.

VALENTE, Leonam dos Santos. Patologias Estruturais Causadas por Efeitos de Sismo, Explosão e Exposição ao Fogo. Engenharia Estudo e Pesquisa. **ABPE**, v. 14 - n. 2 - p. 08-19 - jul./dez. 2014.