

**UNIEVANGÉLICA**

**CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

**IARA ALEXANYA GUEDES RAMOS**

**PATOLOGIA EM RESERVATÓRIOS DE CONCRETO  
ARMADO**

**ANÁPOLIS / GO**

**2015**

**IARA ALEXANYA GUEDES RAMOS**

**PATOLOGIA EM RESERVATÓRIOS DE CONCRETO  
ARMADO**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO SUBMETIDO AO  
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL DA UNIEVANGÉLICA.**

**ORIENTADOR: Agnaldo Antônio Moreira Teodoro da Silva**

**ANÁPOLIS / GO: 2015**

## **FICHA CATALOGRÁFICA**

RAMOS, IARA A. GUEDES.

Patologia em Reservatórios de concreto armado [Goiás] 2015

xi, 80P, 297 mm (ENC/UNI, Bacharel, Engenharia Civil, 2015).

TCC - UniEvangélica

Curso de Engenharia Civil.

1. Reservatórios  
3. Causas de deterioração  
I. ENC/UNI

2. Patologias  
4. Recuperação  
II. Título (Série)

## **REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA**

RAMOS, Iara. A. Guedes, Patologia em Reservatórios de concreto armado. TCC, Curso de Engenharia Civil, UniEvangélica, Anápolis, GO, 80p. 2015.

## **CESSÃO DE DIREITOS**

NOME DO AUTOR: Iara Alexanya Guedes Ramos.

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO: Patologia em Reservatórios de concreto armado

GRAU: Bacharel em Engenharia Civil

ANO: 2015

É concedida à Unievangélica a permissão para reproduzir cópias deste TCC e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte deste TCC pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.

---

Iara Alexanya Guedes Ramos  
Firmo de Velasco  
75024010- Anápolis/GO - Brasil  
engciviliagr@gmail.com

**IARA ALEXANYA GUEDES RAMOS**

**PATOLOGIA EM RESERVATÓRIOS DE CONCRETO  
ARMADO**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO SUBMETIDO AO CURSO DE  
ENGENHARIA CIVIL DA UNIEVANGÉLICA COMO PARTE DOS REQUISITOS  
NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE BACHAREL.**

**APROVADO POR:**

---

**AGNALDO ANTÔNIO M. TEODORO DA SILVA, Especialista (Unievangélica)  
(ORIENTADOR)**

---

**EDSON NISHI, Mestre (Unievangélica)  
(EXAMINADOR INTERNO)**

---

**MARY HELLEN DA COSTA MONTEIRO, Mestre (Unievangélica)  
(EXAMINADORA INTERNA)**

**ANÁPOLIS/GO, 08 de MAIO de 2015.**

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus que não só neste trabalho, mas assim em todos os momentos da minha vida tem me ajudado imensamente, e a Nossa Senhora pela intercessão dela, sempre cuidando e derramando sobre mim muitas graças e bênçãos e também ao glorioso São José por mais uma graça alcançada, e a todos os anjos.

Agradeço imensamente a minha família por todo apoio e compreensão, a minha mãe e o meu pai que sempre me incentivou a ir a diante e me ensinou a nunca desistir, pelos conselhos na hora certa, ao meu irmão Alex agradeço por todas as vezes que ele me ajudou me ensinando a melhor forma de fazer as coisas, por cuidar de mim em todos os momentos possíveis, a minha família agradeço por tanta dedicação e amor que me deram, amor abundante, que nunca faltou em nossa família com a graça de Deus.

Gostaria de agradecer a todos os professores e também ao meu orientador e amigo Agnaldo Antônio, que não somente foi um dos melhores professores que tive na faculdade, mas foi também um orientador para este trabalho de suma importância, sempre preocupado com o andamento e o decorrer do trabalho.

Agradecimentos são tantos, a tantas pessoas que me ajudaram e auxiliaram até aqui, mas não poderia deixar de mencionar a equipe da SANEAGO que tão bem me atendeu e se pôs pronta a me ajudar ao engenheiro Luciano que me atendeu e me passou os dados para a realização deste trabalho, ao Diego que sempre se pôs a disposição para me ajudar e auxiliar, marcando as visitas até a ETA e sempre providenciando alguém da equipe para me acompanhar durante as visitas.

Agradeço também aos meus amigos de faculdade, a Ludmila, Sarah, Jorge e em especial a Letícia e a Auricena que me deram apoio e me incentivaram sempre, nós que caminhamos juntos durante cinco anos, anos que se passaram tão rápido, mas que deixarão marcas eternas na minha vida, nunca esquecerei de cada amizade ali encontrada, agradeço também ao apoio moral e compreensão do Daniel que sempre me apoiou e incentivou que continuasse, pelos momentos do ombro amigo que me concedeu para ouvir as minhas lamentações. Um agradecimento especial ao Marinaldo que me emprestou a câmera dele para tirar as fotos para este trabalho e também a Eliane Vieira que se pôs pronta a ir na ETA para tirar mais algumas fotos.

A todos o meu muito obrigado por fazer parte de mais uma vitória, por todos os momentos, por cada detalhe.

## RESUMO

Este projeto foi desenvolvido para o estudo das principais manifestações patológicas ocorridas nos reservatórios de água em concreto armado da estação de tratamento de água da SANEAGO. Buscou-se aprofundamento teórico em diversos autores, a fim de se explicar algumas manifestação patológica que comumente ocorrem em concreto armado, seja elas por falha de projeto, por falhas na execução, por agente agressores ou por falta de manutenção. O trabalho apresenta todos os reservatórios de água existentes na estação de tratamento de água de Anápolis Goiás, e apresenta as deteriorações presentes nos reservatórios elevados e semi - apoiados. Sendo três elevados e três semi - apoiados, os reservatórios semi - apoiados estão com algumas fissuras, desagregação da tampa e infiltrações, mas estão todos em pleno funcionamento. Os reservatórios elevados apresentam fissuração, carbonatação, infiltração e um apresenta corrosão de armaduras e deslocamento do concreto, dentre estes elevados um está desativado pois já não se encontrava em bom estado e passou a se tornar inutilizável por conta da falta de manutenção. É de suma importância fazer um projeto bem feito e detalhado, para que não ocorra problemas de execução, é importante ter profissionais qualificados para que a execução de cada etapa seja correta e após o término da construção é necessário tomar cuidados com a estrutura, não colocando sobrecarga nela e fazendo manutenção de acordo com o necessário.

**Palavras - chave;** Estação de tratamento de água, Reservatório, Manifestação Patológica, Agentes Agressores, Corrosão, Carbonatação.

## ABSTRACT

This project was developed for the study of the major pathological manifestations occurring in water tanks in reinforced concrete water treatment station SANEAGO. He attempted to theoretical deepening in several authors, in order to explain some pathological manifestation that commonly occur in reinforced concrete, is there by design flaw, fault of execution for attackers agent or lack of maintenance. This work presents all existing water tanks in Anápolis Goiás water treatment, and presents the deterioration present in elevated tanks and semi - supported. Including three high and three semi - supported, semi reservoirs - are supported with some cracks, breakdown cover and infiltration, but they are all in working order. The elevated tanks have cracks, carbonation, infiltration and presents corrosion of armor and peeling concrete, among these high one is disabled because no longer was in good condition and went on to become unusable due to lack of maintenance. It is very important to make a well done and detailed design, so that there is implementation problems, it is important to have qualified for the execution of each step is correct and after finished of construction it is necessary to take care with structure, not putting overload it and doing maintenance as needed.

**Keywords;** water treatment station, tanks, pathological manifestation, aggressors agents, corrosion, carbonation.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

|  |    |
|--|----|
| Figura 1 - Realidade do Brasil.....  | 17 |
| Figura 2 - Esquema de tratamento de água .....   | 18 |
| Figura 3 - Entrada e saída dos reservatórios .....   | 19 |
| Figura 4 - Reservatórios em relação ao terreno.....  | 20 |
| Figura 5 - Algumas considerações genéricas de fissuras em função do tipo de solicitação predominante ..... | 36 |
| Figura 6 - Fissura de recalque .....   | 37 |
| Figura 7 - Fissuração nas lajes.....   | 37 |
| Figura 8 - Trincas de punção.....  | 38 |
| Figura 9 - Fissuras de movimentação térmica.....   | 38 |
| Figura 10 - Formação de fissuras por assentamento plástico do concreto.....                                | 39 |
| Figura 11 - Processo de Corrosão Eletroquímica do aço .....  | 42 |
| Figura 12 - Célula de Corrosão em concreto armado .....  | 42 |
| Figura 13 - Processo de corrosão da armadura.....  | 43 |
| Figura 14 - Representação do avanço da frente de carbonatação e alteração do pH do concreto no tempo.....  | 44 |
| Figura 15 - Avanço do processo de carbontação.....   | 45 |
| Figura 16 - Entrada da estação de tratamento de água da SANEAGO.....                                       | 50 |
| Figura 17 - Reservatórios da ETA - SANEAGO Anápolis.....   | 51 |
| Figura 18 - Painel de reservatórios de distribuição - SANEAGO Anápolis .....                               | 51 |
| Figura 19 - Placa de identificação do reservatório ETA I - SANEAGO Anápolis .....                          | 52 |
| Figura 20 - Vista geral do reservatório ETA I - SANEAGO Anápolis .....                                     | 52 |
| Figura 21 - Tampa do reservatório ETA I - SANEAGO Anápolis .....   | 53 |
| Figura 22 - Infiltração na parede externa do ETA I - SANEAGO Anápolis .....                                | 53 |
| Figura 23 - Fissura na parede externa do ETA I - SANEAGO Anápolis .....                                    | 53 |
| Figura 24 - Placa de identificação do reservatório ETA II - SANEAGO Anápolis.....                          | 55 |
| Figura 25 - Vista geral do reservatório ETA II - SANEAGO Anápolis.....                                     | 56 |
| Figura 26 - Concreto desagregado e malha de aço exposta do reservatório ETA II .....                       | 56 |
| Figura 27 - Micro - fissuras e infiltrações ETA II.....  | 56 |
| Figura 28 - Placa de identificação do reservatório ETA III .....   | 59 |
| Figura 29 - Tampa do reservatório ETA III .....  | 59 |
| Figura 30 - Fissura próxima ao solo do ETA III .....   | 59 |



|  |    |
|--|----|
| Figura 31 - Vista geral do reservatório ETA III .....  | 60 |
| Figura 32 - Placa de identificação do reservatório elevado ETA I - Jaiara.....                             | 62 |
| Figura 33 - Vista geral do reservatório ETA I - Jaiara .....   | 64 |
| Figura 34 - Fundo da cuba do ETA I - Jaiara, com indícios de infiltração e carbonatação do concreto .....  | 65 |
| Figura 35 - Fissuras nas juntas de concretagem e formação de estalactites no ETA I - Jaiara                | 65 |
| Figura 36 - Parede com manchas de cor escura e branca no ETA I - Jaiara.....                               | 66 |
| Figura 37 - Reservatório de lavagem de filtros .....   | 67 |
| Figura 38 - Reservatório elevado ETA II - lavagem de filtros.....  | 68 |
| Figura 39 - Formação de estalactite no ETA II .....  | 69 |
| Figura 40 - Bolhas na superfície do ETA II.....  | 70 |
| Figura 41 - Vista geral do reservatório desativado.....  | 73 |
| Figura 42 - Deslocamento do concreto pela corrosão da armadura no reservatório desativado da SANEAGO ..... | 74 |
| Figura 43 - Trinca no pilar do reservatório desativado .....   | 74 |

## LISTA DE TABELAS

|   |    |
|---|----|
| Tabela 1 - Classe de agressividade ambiental .....                        | 25 |
| Tabela 2 - Verificação do pH do meio aquoso .....                         | 40 |
| Tabela 3 - Variações das propriedades físicas devido à carbonatação ..... | 46 |

## LISTA DE QUADROS

|  |    |
|--|----|
| Quadro 1 - Inter - relacionamento entre conceitos de durabilidade e desempenho.....                | 24 |
| Quadro 2 - Causas intrínsecas aos processos de deterioração das estruturas de concreto armado..... | 27 |
| Quadro 3 - Causas extrínsecas aos processos de deterioração das estruturas de concreto armado..... | 31 |
| Quadro 4 - Processos físicos de deterioração das estruturas de concreto .....                      | 35 |

## LISTA DE SIGLAS E ELEMENTOS QUÍMICOS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

a/c - relação água cimento

CAA - Classe de agressividade ambiental

Ca(OH)<sub>2</sub> - hidróxido de cálcio

CaCO<sub>3</sub> - carbonato de cálcio

CO<sub>2</sub> - gás carbônico

ETA - Estação de Tratamento de Água

Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> - Óxido de ferro

H - Hidrogênio

H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> - ácido carbônico

H<sub>2</sub>S - gás sulfídrico

*H<sub>2</sub>SO<sub>3</sub> e H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>* - chuva ácida

L/s - litros por segundo

mm - milímetros

MPa - Mega Pascal

NR - Norma Regulamentadora

NBR - Norma Brasileira

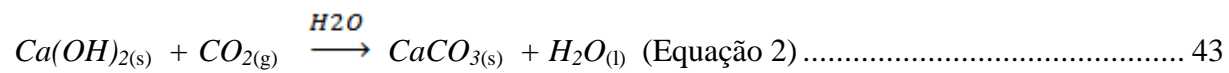
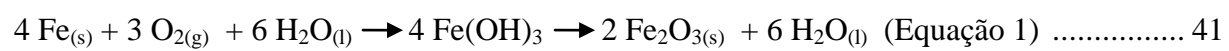
OH - Hidroxila

SANEAGO - Saneamento básico de Goiás

SO<sub>2</sub> - dióxido de enxofre

SO<sub>3</sub> - trióxido de enxofre

## LISTA DE EQUAÇÕES



## SUMÁRIO

|   |    |
|---|----|
| 1 INTRODUÇÃO .....                                  | 15 |
| 1.1 OBJETIVO .....                                  | 16 |
| 1.1.1 Objetivos gerais .....                        | 16 |
| 1.1.2 Objetivos específicos.....                    | 16 |
| 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....                       | 17 |
| 2.1 SANEAMENTO BÁSICO .....                         | 17 |
| 2.1.1 Tratamento de água .....                      | 17 |
| 2.1.2 Reservatórios .....                           | 19 |
| 2.2 CAUSAS DE DETERIORAÇÃO.....                     | 21 |
| 2.2.1 Erro de projeto .....                         | 21 |
| 2.2.2 Vícios.....                                   | 22 |
| 2.2.3 Patologias.....                               | 22 |
| 2.2.4 Ambientes .....                               | 24 |
| 2.3 DETERIORAÇÕES INTRÍNSECAS .....                 | 26 |
| 2.4 DETERIORAÇÕES EXTRÍNSECAS .....                 | 30 |
| 2.5 PROCESSOS FÍSICOS DE DETERIORAÇÃO.....          | 34 |
| 2.5.1 Fissuras .....                                | 35 |
| 2.5.2 Corrosão .....                                | 40 |
| 2.5.3 Carbonatação .....                            | 43 |
| 3 RECUPERAÇÃO .....                                 | 47 |
| 4 ESTUDO DE CASO .....                              | 50 |
| 4.1 ETA I SEMI - ENTERRADO .....                    | 52 |
| 4.1.1 Diagnóstico do ETA I semi - enterrado.....    | 54 |
| 4.1.2 Recuperação do ETA I semi - enterrado .....   | 54 |
| 4.2 ETA II SEMI - ENTERRADO .....                   | 55 |
| 4.2.1 Diagnóstico do ETA II semi - enterrado .....  | 57 |
| 4.2.2 Recuperação do ETA II semi - enterrado .....  | 58 |
| 4.3 ETA III SEMI - ENTERRADO.....                   | 58 |
| 4.3.1 Diagnóstico do ETA III semi - enterrado ..... | 60 |
| 4.3.2 Recuperação do ETA III semi - enterrado.....  | 61 |
| 4.4 ETA I ELEVADO.....                              | 61 |
| 4.4.1 Diagnóstico do ETA I elevado.....             | 62 |
| 4.4.2 Recuperação do ETA I elevado .....            | 66 |
| 4.5 ETA II ELEVADO.....                             | 67 |
| 4.5.1 Diagnóstico do ETA II elevado .....           | 67 |

|  |    |
|--|----|
| 4.5.2 Recuperação do ETA II elevado .....          | 70 |
| 4.6 RESERVATÓRIO DESATIVADO.....                   | 71 |
| 4.6.1 Diagnóstico do reservatório desativado ..... | 71 |
| 4.6.2 Recuperação do reservatório desativado ..... | 75 |
| 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....                       | 77 |
| REFERÊNCIAS .....                                  | 78 |

## 1 INTRODUÇÃO

O concreto vem sendo usado desde o século XX, e tem uma grande importância em escala mundial, mas com o decorrer do tempo ele pode apresentar algumas imperfeições. Nos reservatórios de água é comum encontrar alguns defeitos no concreto, como fissuras ou trincas, corrosão do aço, carbonatação, eflorescência, entre outros, então se adota medidas efetivas para a recuperação do meio a fim de que ele possa continuar a ser usado sem problemas.

Os reservatórios de água, geralmente têm forma retangular ou circular, mas também pode tomar a forma hexagonal ou octogonal, de acordo com a posição deles, eles podem ser de montante, jusante ou de posição intermediária. O seu material pode ser de concreto, de aço, de poliéster armado com fibras de vidro, madeira, borracha e alvenaria. O reservatório pode ser enterrado onde ele se encontra completamente abaixo do nível do solo, ou semi - enterrado quando ele se encontra pelo menos um terço do seu tamanho aterrado, pode ser apoiado que se encontra a menos que um terço de seu tamanho aterrado, e pode ser reservatório elevado, onde o seu fundo encontra-se a um nível superior do solo onde ele se localiza. (TSUTIYA, 2006)

Uma das patologias que pode ocorrer no concreto armado é a carbonatação, esta pode ser causada pela relação (a/c) água/cimento, se a quantidade de água for grande, então o concreto pode ficar com bolhas de água, e quando a água evaporar, fica um meio poroso, possibilitando que intempéries agridam o concreto e por consequência o aço. A cura também pode influenciar no processo, o concreto pode apresentar fissuras, possibilitando novamente a entrada de gases como o gás carbônico (CO<sub>2</sub>), ele na presença de água provoca uma reação química que resulta em um meio ácido, este vai penetrando o concreto até atingir a armadura e ali começa a corrosão do aço provocando efeitos não desejáveis para as estruturas.

A prevenção do fenômeno é o mais indicado, pois o valor da mesma é menor do que o da recuperação, mas muitas vezes essa prevenção não é feita ocasionando mais tardiamente os defeitos, então faz se necessária à recuperação desses defeitos para que os reservatórios possam continuar a serem usados com segurança.

Assim neste trabalho será abordado um estudo de caso em referência aos tipos de imperfeições presente nos reservatórios de concreto da SANEAGO com enfoque na Patologia Carbonatação, e propondo assim uma forma de reparo possível.



## 1.1 OBJETIVO

### 1.1.1 Objetivos gerais

Analisar a imperfeição presente nos reservatórios de concreto da SANEAGO e propor uma forma de reparo possível.

### 1.1.2 Objetivos específicos

- Estudar os tipos de imperfeições que podem surgir em um reservatório de concreto;
- Identificar os tipos de imperfeições presentes nos reservatórios da SANEAGO;
- Analisar as imperfeições encontradas nos Reservatórios da SANEAGO;
- Apresentar uma recuperação para a patologia identificada.

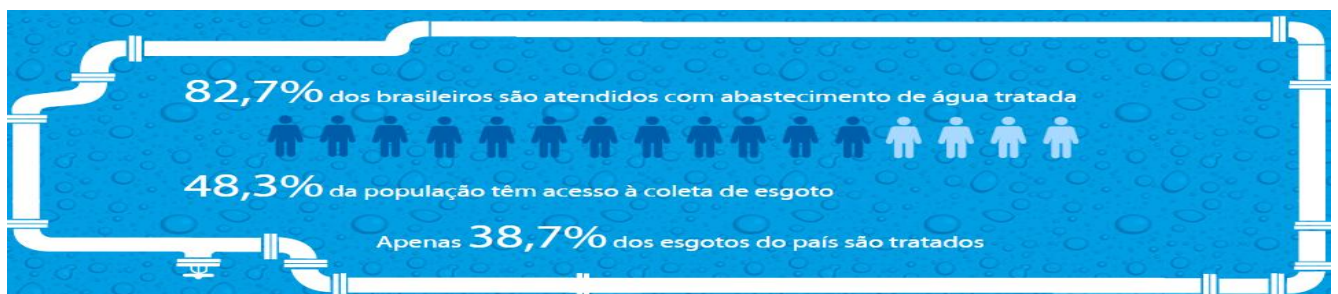
## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 SANEAMENTO BÁSICO

#### 2.1.1 Tratamento de água

A água de uma represa, rio ou manancial carrega impurezas junto com ela e esta necessita ser tratada para que seja apropriada para o consumo humano, quando há substâncias, como matéria orgânica, resíduos sólidos, esgotos domésticos, erosão e assoreamento presente na água esta é considerada poluída, ou seja, não é potável, necessitando de tratamento para que ela seja adequada ao consumo. De acordo com o Instituto Trata Brasil, 82,7% dos brasileiros tem acesso a água tratada, como mostrado na figura 1. (INSTITUTO TRATA BRASIL, 2012)

Figura 1 - Realidade do Brasil



Fonte: Instituto Trata Brasil, 2012

O tratamento da água é feito em uma Estação de Tratamento de Água (ETA), nesta estação a água passa por vários processos para que ela possa ser considerada potável, o primeiro processo é o de captação no manancial, essa água superficial é captada através de adutoras, que tem a função de levar a água até a ETA, logo quando a água chega já se inicia o processo de tratamento com componentes químicos, depois é feita uma decantação, e uma filtração, então a água é levada para o reservatório. De lá ela é distribuída para os demais reservatórios e assim jogada para as redes de distribuição, até que ela chegue nos domicílios, como mostrado na esquematização da figura 2. (INSTITUTO TRATA BRASIL, 2012)

Figura 2 - Esquema de tratamento de água.



Fonte: Instituto Trata Brasil, 2012

O saneamento básico tem o fim de preservar o meio ambiente, para prevenir doenças e melhorar a saúde da população e por fim o indivíduo se manter saudável e produtivo, para manter a economia, no Brasil a Lei que trata do saneamento básico é a 11.445 de 2007. (INSTITUTO TRATA BRASIL, 2012)

A Lei Nº 11.445, de 5 de Janeiro de 2007, sanciona:

III - abastecimento de água, esgotamento sanitário, limpeza urbana e manejo dos resíduos sólidos realizados de formas adequadas à saúde pública e à proteção do meio ambiente;

IV - disponibilidade, em todas as áreas urbanas, de serviços de drenagem e de manejo das águas pluviais adequados à saúde pública e à segurança da vida e do patrimônio público e privado;

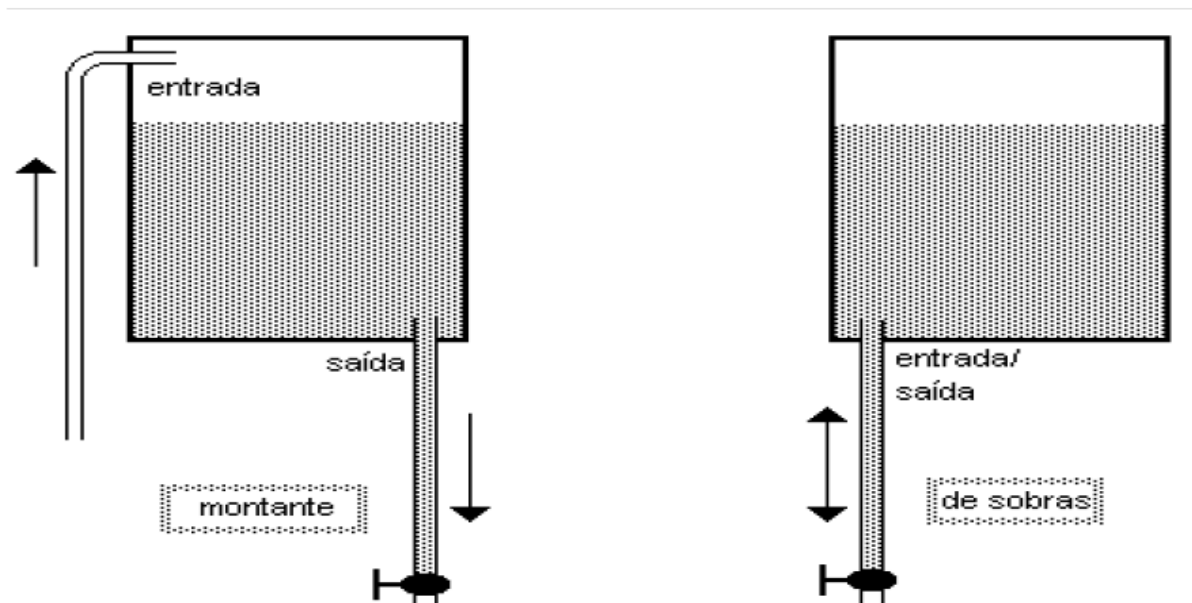
Esta lei estabelece que os municípios sejam responsáveis pelo plano municipal de saneamento básico, com o objetivo da prestação de serviços e que esta seja de responsabilidade da entidade pública municipal, ou de uma concessionária seja ela pública ou privada. Ela também impõe a obrigatoriedade de planejar e regulamentar serviços, ela abrange os aspectos econômicos, sociais e técnicos da prestação dos serviços, ela institui a participação e o controle social. (Lei Nº 11.445, 2007)

### 2.1.2 Reservatórios

Os reservatórios de distribuição de água tem o propósito de acumular água, regularizar a vazão, reservar água para incêndio e regularizar a pressão. Para se definir qual tipo de reservatório deve ser utilizado faz se necessário avaliar o local onde será instalado, o tipo de material a forma que ele terá, o local deve ser estratégico a fim de que possa atender as necessidades de projeto. Ele pode ser feito de diversos materiais tais como, o poliéster armado com fibras de vidro, o aço, a madeira, a borracha, a alvenaria e o concreto armado, este último em geral é o mais utilizado em sistemas de reservação de água de concessionárias. (BORGES, 2008)

Os tipos de reservatórios existentes são o reservatório de montante, aquele que distribui água para os demais e que está localizado antes da rede de distribuição ele pode ter outros reservatórios auxiliares, já o reservatório de jusante é aquele que recebe a água durante o período de menor consumo e nas horas de maior consumo esta água é utilizada, está localizado após a rede, e tem tubulação única, como mostrado na figura 3, há também o reservatório de posição intermediária ele é de menor dimensão. (TSUTIYA, 2006)

Figura 3 - Entrada e saída dos reservatórios



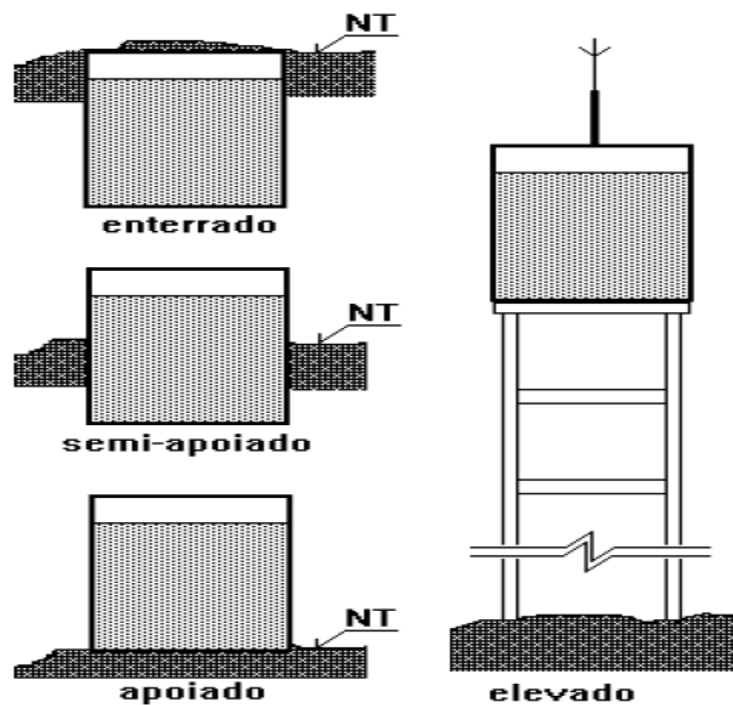
Fonte: Guimarães; Carvalho e Silva, 2007

Um dos pontos mais fracos do sistema de tratamento de água são os reservatório estes devem estar bem fechados a fim de se evitar contaminação da água, este deve ter um sistema de ventilação, uma abertura para higienização, um indicador de nível, é necessário

observar a impermeabilização do reservatório, colocar nele um registro de descarga e um ladrão. A quantidade de água reservada não deve ser menor que um terço do volume do consumo diário, sua limpeza deve ser frequente para evitar a contaminação da água. (FUNASA, 2004)

O tipo de reservatório depende da sua localização. Para se definir qual tipo de reservatório pode ser usado, geralmente têm forma retangular ou circular, mas também pode tomar a forma hexagonal ou octogonal, de acordo com a posição deles. O reservatório enterrado está completamente abaixo do nível do terreno ele é isolado termicamente o que é uma característica positiva dele, mas o custo dele é maior. Há também o semi - enterrado, ou semi - apoiado, este se caracteriza por se encontrar pelo menos um terço do seu tamanho aterrado, ele pode ser apoiado quando se encontra a menos que um terço de seu tamanho aterrado, os reservatórios semi - enterrados e os apoiados devem ter um isolamento térmico, existe também o reservatório elevado, onde o seu fundo encontra-se a um nível superior do solo onde ele se localiza, este é necessário em alguns lugares onde a cota do terreno não permite uma queda de água necessária, mas ele tem um elevado custo de execução, e este é causador de impacto ambiental. Na figura 4 é apresentado os tipos de reservatórios em relação à cota do terreno. (TSUTIYA, 2006)

Figura 4 - reservatórios em relação ao terreno



Fonte: Guimarães; Carvalho e Silva, 2007

Reservatórios de concreto armado podem ser construídos em qualquer lugar, mas deve ser observado o material utilizado, necessita que seja de qualidade, é necessário seguir o projeto adequadamente e este deve ser acompanhado por um engenheiro qualificado para que haja a garantia de que o reservatório foi bem executado e que futuramente ele não venha a sofrer rachaduras ou fissuras. (UFCEG apud BORGES, 2008)

## 2.2 CAUSAS DE DETERIORAÇÃO

### 2.2.1 Erro de projeto

Para um projeto de qualidade, faz-se necessário entender as necessidades do cliente, fazer um estudo antecipado do custo e do meio onde se instalará o bem, deve-se observar que quanto mais tempo se leva para construir maiores serão os gastos, nos projetos deve-se propor soluções a fim de diminuir falhas e equívocos desnecessários. (GESTÃO DE PROJETOS NA CONSTRUÇÃO CIVIL, 2013)

Geralmente falhas de projetos são ocasionadas pela inexistência do projeto executivo na obra, ou quando o projeto é de difícil entendimento por falta de detalhamento do projeto, faz-se necessário que seja bem específico quando é observado alguma particularidade, muitas vezes também ocorre a mudança do projeto e esta não é informada ao projetista ou o projetista muda o projeto e não informa ao executor, outra falha observada são instalações de difícil acesso, não previstas previamente, resultando em falhas no projeto, um fator que influencia muito é a incompatibilidade de projetos, estes são feitos separadamente e não são compatibilizados ocasionando erros na hora da execução. (SANTOS, M.; SANTOS, A., 2004)

A patologia ocasionada na execução do projeto pode ser descrita por falta de analisar adequadamente os projetos arquitetônicos e estruturais, pela falta de clareza das plantas arquitetônicas e ou estruturais, falta de especificação adequada dos materiais, a fim de que se tenha um controle de estoque e armazenagem adequados para cada tipo de material, erros de cálculos estruturais ou de dimensionamento, por adensamento inapropriado do concreto e processo de cura inadequado. (BORGES, 2008)

### 2.2.2 Vícios

Os vícios podem acontecer por uma falha, ou erro de projeto, pode ocorrer erro no momento da execução, ou ainda por falta de informação ao consumidor para que ele saiba a forma correta de uso do bem. Estes podem causar ineficiência do bem, ou ser inapropriados para o uso, razão de prejuízos financeiros e desgaste do consumidor. (NBR 13725, 1996)

Há vícios chamados redibitórios; a palavra redibir em essência quer dizer que uma venda pode ser anulada judicialmente pelo fato que o produto foi entregue com vício ou defeito grave que são aqueles escondidos, que não são detectáveis a primeiro momento, mas que depois de um certo tempo acabam aparecendo, estes por sua vez fazem com que o valor do bem tenha uma queda e pode inviabilizar o uso do bem, então o consumidor tem o direito de anular o contrato ou ter o desconto proporcional do preço, este se reclamado dentro do prazo de um ano. (GRANDISKI, 2013)

Vício Redibitório é aquele que deduz do valor do bem. Se o consumidor tivesse a consciência, soubesse do problema, este poderia exigir que o custo do reparo fosse abatido no montante total do valor pago, em casos mais graves o consumidor pode até desistir da compra. (NBR 13725, 1996)

### 2.2.3 Patologias

São várias as causas das patologias geradas no momento da execução, dentre elas o fato de começar a execução sem que os projetos estejam terminados; outro fator que pode ocorrer é a não habilitação, má qualificação profissional da mão de obra por parte do engenheiro, do mestre de obra ou até mesmo dos trabalhadores de execução direta como os pedreiros e serventes; a falta de controle de qualidade, má qualidade dos materiais e falta de técnica aplicada corretamente, ou até mesmo um prejuízo de caso pensado. Há também os erros grosseiros como a falta de prumo, de esquadro, locação inadequada da obra, falta de alinhamento das estruturas, escoramento ineficiente das fôrmas, posicionamento inadequado das armaduras e das disposições das cordoalhas de aço. (SOUZA; RIPPER, 2009)

A vida útil de uma estrutura de concreto é dada a partir da capacidade que a estrutura tem de resistir a todos os meios agressores externos previstos anteriormente pelo projetista, sem que ela perca as características necessárias para as quais foi projetada. (Lana, 2005)

Um fator que não é dispensado na problemática das patologias são as indústrias de materiais, que são autônomas em relação à construção civil, os seus produtos deveriam atender as necessidades da construção e esta é dependente da qualidade que é proposta pela indústria. Outro fator em relação aos produtos é a compra de materiais de baixa qualidade, se o encarregado de compras souber que o material é de baixa qualidade e ele assim o quiser comprar para reduzir custos da obra, isto é uma irresponsabilidade algumas vezes até criminosa. A norma não especifica um tipo padrão de materiais o que facilita na compra de materiais de má qualidade, então pelo fato de não ter uma norma de padronização de materiais, materiais de qualidade e juntamente com uma fiscalização falha, as empresas podem colocar no mercado um material deficiente ou com o controle de qualidade fora dos padrões, o que resulta em problemas de desempenho das estruturas. (SOUZA; RIPPER, 2009)

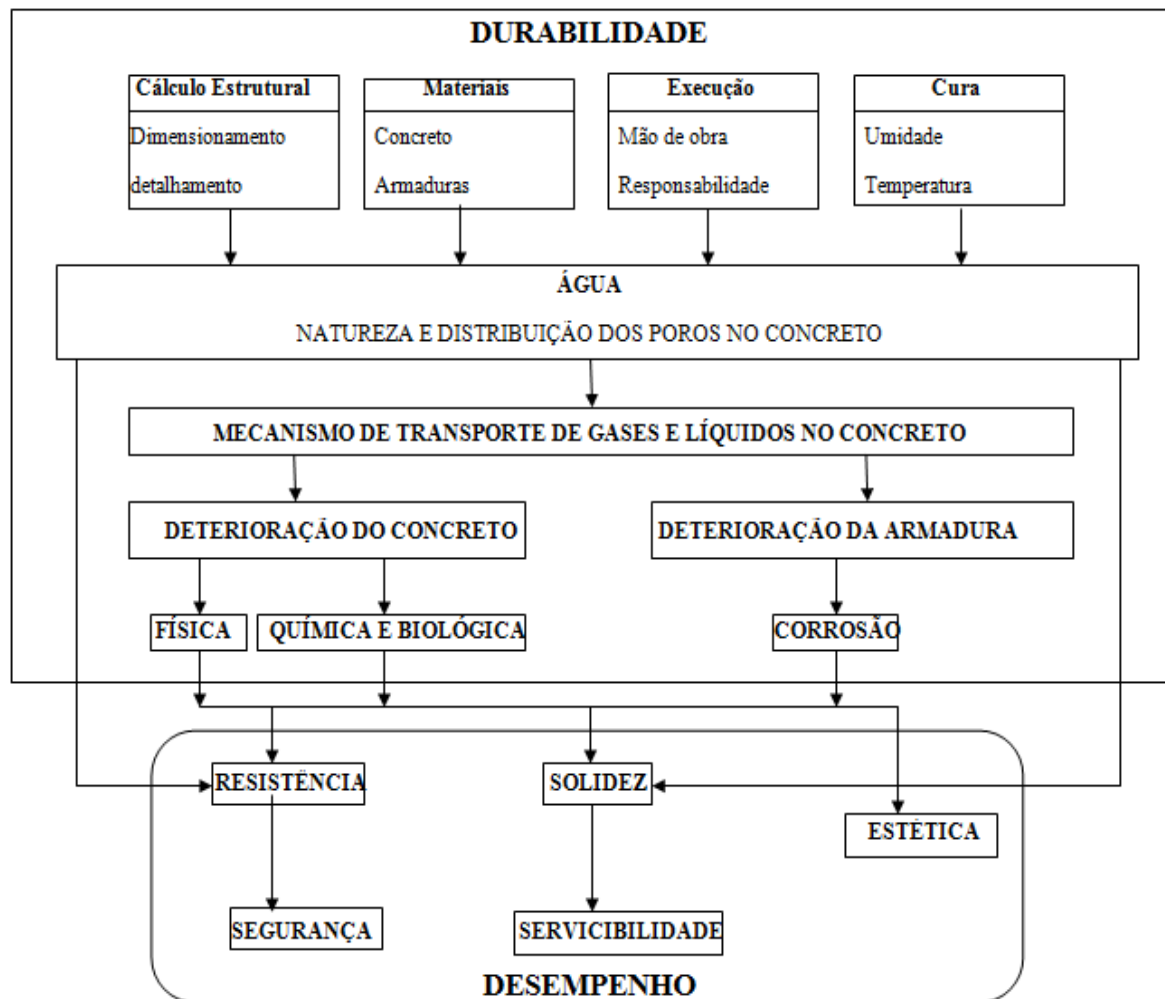
Segundo a NBR 6118, a durabilidade é a aptidão que uma estrutura tem de resistir as agressões dos ambientes que já foram previamente observadas no momento do projeto pelo autor e pelo contratante, de acordo com o quadro 1. (NBR 6118, 2014)

O campo da engenharia civil que se procura as origens, formas de manifestação, consequências, causas das falhas e o desgaste das estruturas compreende-se como o campo que estuda a patologia. Pode - se dividir em dois campos os de problemas patológicos simples que são problemas padronizados podendo estes ser reconhecidos por profissionais que não são da área. Há também os problemas patológicos complexos que exigem análises mais profundas dos problemas. (SOUZA; RIPPER, 2009)

Uma estrutura está em constante movimento, por influencia das cargas acidentais aplicadas à ela e por consequência de variações de temperaturas. Quando não há um travamento adequado, a estrutura pode sofrer uma deformação gerando a falta de estabilidade da estrutura. Como exemplo, tem - se um reservatório elevado que sobre dois pilares parede travados nas lajes perderam a estabilidade por conta da falta de rigidez das lajes intermediárias, o que não garantia o travamento dos pilares, causando assim a instabilidade e ruptura do mesmo. (MARCELLI, 2007)



Quadro 1 - Inter-relacionamento entre conceitos de durabilidade e desempenho



Fonte: C.E.B. - Boletim nº 183, Apud SOUZA; RIPPER, 2009, Adaptado

#### 2.2.4 Ambientes

A fim de prevenir danos futuros, observa-se o ambiente em que a obra está contida, para que através do projeto sejam feitas intervenções para a precaução de alguns danos. (AITCIN Apud LANA, 2005)

O concreto a longo prazo é um material mutável, quando alterado os atributos físico-químicos em função de reações ocorridas com o meio ambiente. Os efeitos dessa mudança que possam comprometer o desempenho da estrutura de concreto é chamado de deterioração e os elementos que atacam a estrutura são chamados de agentes de deterioração. (SOUZA; RIPPER, 2009)

Segundo a NBR 6118 há classes de agressividades pré-definidas, classe um, para ambientes de do tipo rural e ou submerso, estes são considerados de agressividade fraca; a classe de agressividade moderada é o ambiente urbano e sua classificação é dois, pois o risco de deterioração é pequeno; A classe de agressividade três é considerada forte, com grande risco de deterioração, estes são em ambientes marinhos e industriais; A classe quatro é considerada muito forte, com elevado risco de deterioração este ambiente é aquele em que está em contato com respingos de maré, como demonstrado na tabela 1. (NBR 6118, 2014)

Tabela 1 - Classe de agressividade ambiental (CAA)

| Classe de agressividade ambiental | Agressividade | Classificação geral do tipo de ambiente para efeito de projeto | Risco de deterioração da estrutura |
|-----------------------------------|---------------|--|------------------------------------|
| I                                 | FRACA         | Rural<br>Submersa  | Insignificante                     |
| II                                | MODERADA      | Urbana a, b  | Pequeno                            |
| III                               | FORTE         | Marinha a<br>Industrial a, b                                   | Grande                             |
| IV                                | MUITO FORTE   | Industrial a,c<br>Respingos de maré                            | Elevado                            |

a - Pode-se admitir um microclima com uma classe de agressividade mais branda (uma classe acima) para ambientes internos secos (salas, dormitórios, banheiros, cozinhas e áreas de serviço de apartamentos residenciais e conjuntos secos (salas, dormitórios, banheiros, cozinhas e áreas de serviço de apartamentos residenciais e conjuntos comerciais ou ambientes com concreto revestido com argamassa e pintura).

b - Pode-se admitir uma classe de agressividade mais branda (uma classe acima) em obras em regiões de clima seco, com umidade média relativa do ar menor ou igual a 65%, partes da estrutura protegidas de chuva em ambientes predominantemente secos ou regiões onde raramente chove.

c - Ambientes quimicamente agressivos, tanques industriais, galvanoplastia, branqueamento em indústrias de celulose e papel, armazéns de fertilizantes, indústrias químicas.

Fonte: NBR 6118, 2014 adaptado

Os cloretos de sódio e de magnésio são muito agressivos nas estruturas executadas perto do mar, eles aumentam a ação nas armaduras, resultando em uma corrosão acelerada. Com o grau da temperatura elevada é favorecido a penetração nos poros do concreto, os sais, resultando na eflorescência, quando a umidade volta ao normal esses sais são favorecidos a penetrar o interior do concreto. (MARCELLI, 2007)

Os combustíveis fósseis, as indústrias jogam uma grande porção de gás carbônico na atmosfera, o que resulta em um desgaste das estruturas de concreto armado. O dióxido de carbono da atmosfera quando reage com a umidade do ar resulta no ácido carbônico ( $H_2CO_3$ ) que gera a carbonatação. A carbonatação pode acontecer também na classe de agressividade I,

no meio rural, mesmo com uma concentração de gás carbônico de 0,03%. Na classe de agressividade II, em cidades com muitas indústrias e carros a concentração de gás carbônico varia de 0,3 % à 1%. (BARIN, 2008)

### 2.3 DETERIORAÇÕES INTRÍNSECAS

As deteriorações chamadas intrínsecas, conforme mostrado no quadro 2, são provocadas pela própria reação interna das estruturas, neste quadro são apresentadas as variadas formas de deterioração intrínsecas dentre elas: falha de concretagem, que pode acarretar segregação da brita com a argamassa, pode acarretar ninhos de concretagem e cavidades no concreto na fase de execução; deve - se tomar cuidados no lançamento do concreto ele deve ser transportado com cuidado para que não haja a segregação do concreto e deve ser utilizado rapidamente para não endurecer e não formar juntas de concretagens não previstas anteriormente, o lançamento ainda pode provocar o deslocamento da armadura, e depois o concreto deve ser adensado de forma correta pra que a brita não separe da argamassa e também não deve haver vazios no concreto, estes vazios tornam o concreto poroso e ele se torna mais suscetível a agente agressores. (SOUZA; RIPPER, 2009)

Uma das causas de deterioração intrínseca é a cura, muitas vezes não é dada a devida importância pra ela, mas ela é de suma importância, pois uma cura defeituosa pode causar prejuízos financeiros e também à estrutura. O concreto se dá pela reação do cimento com a água, se esta água for perdida por meio de evaporação a reação química não acontecerá e causará a perda da resistência do concreto e este ficará poroso, o que facilitará a entrada de meios agressores no concreto. Caso não seja executada uma maneira de reter a água do concreto, e esta for perdida muito rapidamente através da evaporação podem ocorrer fissuras, então deve ser feito uma cura de 7 a 10 dias, para que o concreto não perca a água de amassamento. (MARCELLI, 2007)

Quadro 2 Causas intrínsecas aos processos de deterioração das estruturas de concreto armado

|   |   |  |                                     |  |
|---|---|--|-------------------------------------|--|
| <b>CAUSAS INTRÍNSECAS</b>   | <b>FALHAS HUMANAS DURANTE A CONSTRUÇÃO</b>            | <b>DEFICIÊNCIAS DE CONCRETAGEM</b>                 | Transporte                          |  |
|   |   |  | Lançamento                          |  |
|   |   |  | Juntas de concretagem               |  |
|   |   |  | Adensamento                         |  |
|   |   |  | Cura                                |  |
|   |   | <b>INADEQUAÇÃO DE ESCORAMENTO E FÔRMAS</b>         |                                     |  |
|   |   | <b>DEFICIÊNCIAS NAS ARMADURAS</b>                  | Má interpretação dos projetos       |  |
|   |   |  | Insuficiência de armaduras          |  |
|   |   |  | Mau posicionamento das armaduras    |  |
|   |   |  | Cobrimento de concreto insuficiente |  |
| Dobramento inadequado das barras                                    |   |  |                                     |  |
| Deficiências nas ancoragens   |   |  |                                     |  |
| Deficiências nas emendas  |   |  |                                     |  |
| <b>UTILIZAÇÃO INCORRETA DOS MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO</b>             | Má utilização de anticorrosivos                       |  |                                     |  |
|   | fck inferior ao especificado                          |  |                                     |  |
|   | Aço diferente do especificado                         |  |                                     |  |
|   | Solo com características diferentes                   |  |                                     |  |
|   | Utilização de agregados reativos                      |  |                                     |  |
|   | Utilização inadequada de aditivos                     |  |                                     |  |
| <b>INEXISTÊNCIA DE CONTROLE DE QUALIDADE</b>                        |   |  |                                     |  |
| <b>FALHAS HUMANAS DURANTE A UTILIZAÇÃO (ausência de manutenção)</b> |   |  |                                     |  |
| <b>CAUSAS NATURAIS</b>  | <b>CAUSAS PRÓPRIAS À ESTRUTURA POROSA DO CONCRETO</b> |  |                                     |  |
|   | <b>CAUSAS QUÍMICAS</b>                                | Reações internas ao concreto                       |                                     |  |
|   |   | Expansibilidade de certos constituintes do cimento |                                     |  |
|   |   | Presença de cloretos                               |                                     |  |
|   |   | Presença de ácidos e sais                          |                                     |  |
|   |   | Presença de anidrido carbônico                     |                                     |  |
|   |   | Presença de água                                   |                                     |  |
|   | Elevação da temperatura interna do concreto           |  |                                     |  |
|   | <b>CAUSAS FÍSICAS</b>                                 | Variação de temperatura                            |                                     |  |
|   |   | Insolação  |                                     |  |
|   |   | Vento  |                                     |  |
|   |   | Água   |                                     |  |
|   | <b>CAUSAS BIOLÓGICAS</b>                              |  |                                     |  |

Fonte: SOUZA; RIPPER, 2009, Adaptado

Faz - se necessário uma cura do concreto, para que se impeça a saída de água do concreto, assim este será mais resistente a ações dos agentes deterioradores, a cura também pode ajudar no aumento da tensão de ruptura. (SOUZA; RIPPER, 2009)

Existe diversas formas de cura: a cura por aspersão de água que nada mais é do que molhar o concreto regularmente; a cura a vapor é muito utilizada pois neste processo o concreto pode secar mais rapidamente e através da cura com o ambiente com o vapor de água a uma temperatura de 70° C, a cura por lâmina de água é feita através de 5 cm de água durante todo o tempo sobre a superfície plana do concreto; a cura por proteção da superfície se dá através do cobrimento de toda a superfície do concreto com lona ou uma camada de areia, terra ou saco de aniagem; a cura pela aplicação de pinturas, nesta cura é aplicada tintas ou emulsões como resina, vernizes entre outros; a cura por cloreto de cálcio, que é jogado 1,0 kg por metro quadrado a fim de absorver a água do meio ambiente, este deve ser totalmente retirado após a cura a fim de se evitar ataque químico; membrana de cura, estas são aplicadas na superfície do concreto uma camada fina de película de resina ou parafina que dure apenas 3 ou 4 semanas e são fáceis de serem removidas; cura de peças com grandes volumes deve ser feito um resfriamento do concreto através de adição de gelo na massa ou através de serpentinas que passem água gelada ou até mesmo nitrogênio líquido a fim de se evitar o calor excessivo do concreto que pode provocar uma retração por conta da perda de água através do grande calor causado pelo grande volume de concreto; a cura através da molhagem das fôrmas todos estes processos de cura são executados em ambientes de 15°C a 35°C. (MARCELLI, 2007)

O que dá o formato do concreto são as fôrmas, elas devem ser estanque para que não haja o vazamento de água e da pasta do cimento. As fôrmas devem ser projetadas para garantir que o formato desejado no projeto seja alcançado e durante a concretagem deve ser observado se não houve deslocamento das fôrmas, a fim de se manter o formato conforme o do projeto. (NBR 14931, 2004)

É de grande importância a colocação correta das fôrmas, a final são elas que dão a forma do concreto, se ele é aparente, são elas que vão influenciar no aspecto visual externo do concreto. As fôrmas devem estar limpas, travadas e seladas para que não haja o escoamento da água, areia e do cimento, a fim de se evitar "bicheiras" por conta da perda desse material fino do concreto. As fôrmas devem ser devidamente escoradas, devendo observar que o escoramento não deve ser apoiado diretamente no chão, deve - se distribuir a carga em tábuas. Após a cura inicia-se o descimbramento, este deve ser retirado conforme o programado pelo engenheiro calculista a fim de evitar o aparecimento de flechas. (MARCELLI, 2007)

Para que ocorra uma união entre o cimento e os agregados, faz-se necessárias reações químicas entre eles, essa união é importante para que a resistência esperada do concreto seja alcançada, mas estas reações podem resultar em uma expansão. Um gerador de expansões no concreto são as reação álcali-agregado, álcalis-dolomita, e reação entre rochas caulinizadas, ou feldspatos calco - sódicos; a reação álcali-agregado, que é o resultado da influência mútua maior a 0,6% entre a sílica dos agregados e os íons álcalis ( $\text{Na}^+$  e  $\text{K}^+$ ) componentes do cimento, que são soltos no momento da hidratação ou pela penetração no concreto desses íons álcalis que resulta em uma fissuração pelo fato da expansão dos agregados reativos. Outra reação é a de álcalis-dolomita, que é o aumento dos cristais do calcário da dolomita que reagem com ( $\text{NaOH}$ ), o hidróxido de sódio que está no composto do cimento, isto acarreta também uma expansão. Há a reação das rochas caulinizadas que tem alumínio, elas pelo cálcio do cimento e pelos íons de sulfato resultam em um novo sólido o sulfatoaluminato tricálcico, e isso gera novamente uma expansão. A hidratação vagarosa do óxido de magnésio ( $\text{MgO}$ ) na configuração de pericálcio depois da cura do cimento também pode resultar em uma expansão. A hidratação da cal livre, que está no cimento, pode provocar expansibilidade o que resultará em uma fissuração superficial ou até mesmo a ruína do concreto. (SOUZA; RIPPER, 2009)

As causas do desgaste do concreto estão relacionadas a natureza física, química, biológica ou eletromagnética. Esse desgaste acontece muitas vezes por conta de um acumulo de fatores que reagem com o concreto seja no meio externo ou no meio interno dele. (LAPA, 2008)

O concreto é um sólido poroso que tem uma grande facilidade de se deixar adentrar gases, líquidos e partículas sólidas o que pode gerar uma penetração até o aço e provocar a deterioração por corrosão deste aço. Os agentes de deterioração presentes na atmosfera, em águas residuais, em águas industriais, águas do mar e dejetos orgânicos ou no próprio concreto avança rapidamente, o que acelera o processo de corrosão, os principais são sulfetos, cloretos, dióxido de carbono, os nitritos, o gás sulfídrico, o óxido de enxofre a fuligem e vários outros, estes agentes deterioradores atrapalham a formação do envoltório de passivação do aço aumentando o avanço da corrosão. (MARCELLI, 2007)

As causas últimas da deterioração intrínsecas são as físicas e as biológicas: de acordo com a temperatura ambiente, a insolação, o vento e a água, estes agentes da natureza podem provocar as chamadas causas físicas intrínsecas que influenciam na cura, no endurecimento do concreto. As causas biológicas de desgaste de uma estrutura ocorre pelo fato de algumas vezes ocorrer de uma raiz ou de alga de planta se instalar em uma abertura presente no

concreto que gera uma agressão química através de ácidos, ou por meio de fungos ou pelos sulfetos em forma de gás sulfídrico ( $H_2S$ ) que são encontrados nos esgotos, este gás na presença de água pode ocorrer uma reação química com o cálcio do cimento e resultar em sulfeto de cálcio fazendo com que o concreto fique mole. (SOUZA; RIPPER, 2009)

Quando se observa o fator do tipo que agride uma estrutura, um ambiente agressivo a estrutura, deve ser observado quais agentes deterioradores estão presentes naquele meio e após a análise fazer a escolha de materiais que irão resistir a agressão daquele meio, faz-se necessário utilizar um concreto com materiais corretos e dosagens corretas e que ajam como proteção contra os meios agressores. Assim podendo diminuir o avanço dos agentes agressores e resultando em uma maior durabilidade da estrutura. (LANA, 2005)

## 2.4 DETERIORAÇÕES EXTRÍNSECAS

A deterioração extrínseca não é dada pelas características internas do concreto ou por falhas de execução, diferentemente das causas intrínsecas a causa da deterioração extrínseca são por meio de agentes externos que agredem o concreto no período de elaboração ou durante a vida útil dele, conforme apresentado no quadro 3. (SOUZA; RIPPER, 2009)

É muito comum fissuração em concreto armado, como diz na norma NBR 6118 é inevitável, pois o concreto é frágil em relação a tração e há muitas variações que ele deve resistir, para que se tenha um bom comportamento do concreto ligado a cuidados e proteção das armaduras a fim de evitar corrosão, é necessário fazer o reparo e a contenção dessas fissuras. (NBR 6118, 2014)

As falhas humanas nas deteriorações extrínsecas estão relacionadas a particularidades de projetos. Essas devem ser bem observadas e tomar o cuidado necessário especificado nas normas. Nas deteriorações extrínsecas essa falha está mais relacionada ao pós-construção, na maneira de utilização das estruturas. No projeto estrutural, quando não se é observada a estabilidade da estrutura, pode ocorrer problemas gravíssimos, o conhecimento da inércia e da deformação podem impedir a formação de flechas nas lajes e vigas e ainda assim tomando todos os cuidados e usando coeficientes de majoração de acordo com as normas ainda pode aparecer trincas nas alvenarias e nos revestimentos. Ainda no projeto estrutural as cargas que não foram bem calculadas podem resultar em erros graves. Há três tipos de cargas: as acidentais, as cargas permanentes que são o peso próprio do esqueleto da alvenaria e do revestimento, há ainda as cargas climáticas que geralmente no Brasil a mais considerada é a

carga de vento que em estruturas esbeltas pode gerar vibrações e trazer desconforto aos usuários e pode trazer também trincas. Essas cargas devem ser previstas de acordo com cada norma e o projeto estrutural deve operar com a certeza de que a estrutura projetada irá resistir a essas cargas durante toda a vida útil da estrutura. (SOUZA; RIPPER, 2009)

Quadro 3 Causas extrínsecas aos processos de deterioração das estruturas de concreto armado

|  |  |  |
|--|--|--|
| CAUSAS EXTRÍNSECAS   | <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 0 auto;">FALHAS HUMANAS DURANTE O PROJETO</div> <div style="font-size: 2em; margin: 0 auto;">➔</div>    | Modelização Inadequada da Estrutura            |
|  |  | Má avaliação das Cargas                        |
|  |  | Detalhamento Errado ou Insuficiente            |
|  |  | Inadequação ao Ambiente                        |
|  |  | Incorreção na Interação Solo-Estrutura         |
|  | Incorreção na Consideração de juntas de dilatação  |  |
|  | <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 0 auto;">FALHAS HUMANAS DURANTE A UTILIZAÇÃO</div> <div style="font-size: 2em; margin: 0 auto;">➔</div> | Alterações Estruturais                         |
|  |  | Sobrecargas Exageradas                         |
|  |  | Alteração das Condições do Terreno de Fundação |
|  | <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 0 auto;">AÇÕES MECÂNICAS</div> <div style="font-size: 2em; margin: 0 auto;">➔</div>                     | Choques de Veículos                            |
|  |  | Recalques de fundações                         |
|  |  | Acidentes (Ações Imprevisíveis)                |
|  | <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 0 auto;">AÇÕES FÍSICAS</div> <div style="font-size: 2em; margin: 0 auto;">➔</div>                       | Variação de Temperatura                        |
|  |  | Insolação                                      |
|  |  | Atuação da Água                                |
|  | <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 0 auto;">AÇÕES QUÍMICAS</div>   |  |
| <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 0 auto;">AÇÕES BIOLÓGICAS</div> |  |  |

Fonte: SOUZA; RIPPER, 2009, Adaptado

Uma das falhas humanas é a falta de junta de dilatação, ela é necessária para que a estrutura se movimente por conta da mudança climática, que com o calor dilata a estrutura e com o frio retrai a mesma, a junta ainda serve para as acomodações causadas pela fundação. Elas devem ser previstas para que caso ocorra alguma movimentação, seja ela térmica ou por recalque diferencial, provocado pelo solo, ela possa resistir a essas movimentações e a estrutura absorver estes esforços para que ela continue intacta. (MARCELLI, 2007)



Falhas no momento do detalhamento das armaduras podem afetar na durabilidade da estrutura, pode ser motivado pela falta de conhecimento do projetista, pode ocorrer pela escala do projeto pequena, pela falta de detalhamento, pela má interpretação do projeto, pode ocorrer também que a armadura seja curta e não alcance a outra, as emendas das armaduras má executadas também podem provocar danos. A espessura do aço deve ser levada em conta assim como deve ser observado os ângulos de dobramento e o espaçamento das armaduras devem ser de maneira que se possa passar o concreto pelos espaçamentos das armaduras para que se haja o cobrimento adequado das armaduras. Essa falta deste cobrimento adequado pode provocar a interação indesejada da terra e da água, que com agentes deterioradores pode provocar a deterioração da estrutura, faz-se necessário analisar o ambiente ao qual a estrutura será instalada para que se possa prever em projeto algumas soluções para intempéries que a estrutura pode vir a receber, como por exemplo, insolação, ventos fortes, chuvas, o que torna necessário pensar bem no projeto arquitetônico ao qual será instalado em cada ambiente. (SOUZA; RIPPER, 2009)

Ainda sobre as causas extrínsecas, temos a interação do projeto com o solo a fundação feita em solos fracos com sapatas elas geram muitos problemas, quando não é feito a sondagem do solo e não se sabe em específico qual seria a melhor solução de fundação a ser executada e isso pode causar um recalque diferencial que gerará trincas no princípio na alvenaria e logo após na própria estrutura. A fundação deve se ter o solo bem estudado e os projetos devem ser de acordo com o tipo de solo encontrado, por isso não se recomenda fazer fundações em aterros não planejados, pois pode também provocar recalques que podem levar a estrutura à ruína. Quando se executa uma fundação com estacas pré-moldadas pode ocorrer várias falhas como cravação da estaca no local errado e com ângulo incorreto, pode ocorrer uma falsa nega em solo argiloso mais duro e acontecer o que é chamado de Relaxação, no momento da cravação da estaca ela dá a nega e desce poucos milímetros, então se acha que a cravação da estaca já está boa, mas se voltar a bater novamente na estaca no outro dia ela desce mais, isso provoca um sério recalque na estrutura. Há também as estacas moldadas in loco como por exemplo a estaca STRAUSS feita com camisa metálica o problema dela é que quando é retirado o tubo, o concreto, sai junto com o pilão resultando assim em falhas de concretagem. (MARCELLI, 2007)

Ações que não tem como ser previstas em projetos também podem acontecer com a estrutura, assim como incêndios, abalos sísmicos, inundações, batidas de veículos na estrutura. Os incêndios e os ventos fortes são os acidentes imprevisíveis que mais acontecem no Brasil, o concreto quando em contato com o fogo, absorve o calor e se expande

diferentemente do aço o que resulta na desagregação do concreto. As ações físicas nas causas extrínsecas são: a variação da temperatura que gera fissura as diferentes movimentações de dilatações distintas dos materiais que gera deformação, o sol batendo diretamente no concreto e a ação dos raios solares que podem mudar assim como na variação da temperatura ocorrer o aumento do gradiente por conta dos raios solares o que provoca uma mudança na coloração do concreto e a ação da água com a umidade. (SOUZA; RIPPER, 2009)

Quando se tem estruturas que foram bem executadas e bem projetadas e que seguiram os padrões das normas regulamentadoras e durante o tempo de utilização dela foi usada apenas a quantidade de carga que estava calculada no projeto, mesmo que se tenha fissuras elas não serão significativas, quanto ao quesito da durabilidade da estrutura. Mas não se pode deixar de levá-las em conta pois a origem das fissuras podem ser por conta da retração térmica ou química, que pode ter sido causada por conta da falta de uma cura adequada ou até mesmo pelas medidas, incorretas dos materiais formadores do concreto. (BISSA, 2008)

Ações químicas que está sujeita a ações durante a vida útil da estrutura, diferente das deteriorações intrínsecas que referenciam a fase de construção. Referente ao ar a deterioração química resultante da poluição atmosférica se dá pela liberação da poluição gerada por automóveis e indústrias, estes liberam o dióxido de enxofre ( $SO_2$ ) e o trióxido de enxofre ( $SO_3$ ) que reagindo com a água formam a chuva ácida ( $H_2SO_3$  e  $H_2SO_4$ ) que agride o concreto e também o aço. Águas são invasivas e deterioradoras do concreto, quando ficam acumuladas, são geradoras de estalactites e estalagmites isso por que é dissolvido o hidróxido de cálcio e forma um gel que resulta neste fenômeno. As águas poluídas por indústrias pode conter agentes deterioradores quando há a concentração de cloreto de amônio, de magnésio e de cálcio e ácido sulfúrico estes agridem as armaduras de aço e o concreto. Os sulfatos também agridem muito por meio das águas sulfatadas temos a desagregação do concreto essas águas com sulfatos são encontradas no mar, nas águas subterrâneas e em águas poluídas por indústrias, essas águas ao entrar em contato com o concreto dão origem a um sal chamado Candlot que resulta na desagregação do concreto. (SOUZA; RIPPER, 2009)

Segundo a NBR 6118 a expansão do concreto por conta de sulfatos na água ou no solo pode ser evitada com o uso de cimento resistente a sulfato. Também fala sobre a reação álcali-agregado reativo, deve ser prevista pelo projetista considerando o meio em que a estrutura está contida e o projeto deve ser feito de acordo com o que o ambiente permite fazer, no caso de fundações. O projetista também deve sugerir soluções e prevenções para que não haja o ataque das estruturas. (NBR 6118, 2014)

Nas causas extrínsecas a ação biológica também pode ser por conta do crescimento de vegetação nos vazios do concreto e pode ser causada por ação de formigas e cupins. As formigas afofam o solo das fundações de edificações menores, podendo provocar um recalque que seria caro a recuperação. Os cupins se alojam na alvenaria ou em lajes pré-moldadas o que reduz a durabilidade da estrutura e ocorre o surgimento de trincas. (SOUZA; RIPPER, 2009)

Uma fratura linear do concreto pode ser chamada de trinca, ela pode ocorrer longitudinalmente no concreto por este fato é muito difícil identificar e separar o que é uma fissura e o que é uma trinca. Elas podem ser caracterizadas como capilares médias e largas. (LAPA, 2008)

## 2.5 PROCESSOS FÍSICOS DE DETERIORAÇÃO

Depois de discorrer sobre as causas intrínsecas e extrínsecas de deterioração e falar sobre os seus efeitos na estrutura, observa-se mais detalhadamente algumas deteriorações que agredem a estrutura como mostrado no quadro 4. (SOUZA; RIPPER, 2009)

Algumas patologias que ocorrem em concreto armado são: corrosão de armaduras, fissuração, eflorescências, desagregação, bolor e carbonatação. O concreto armado está presente em quase todas as estruturas, ele é uma mistura de agregado graúdo, miúdo, cimento e água, em alguns casos coloca-se aditivos, então depois da mistura feita é colocado o aço, a interação entre estes materiais está associado à patologia dos seus componentes. (BORGES, 2008)

A resistência das estruturas de concreto está diretamente relacionada a água, a sua quantidade que dirá a densidade do concreto, a compacidade, a porosidade, a permeabilidade, a resistência a tração e compressão do concreto, ela também poderá conduzir a ter ou não capilaridade e fissuração. Isso indicará se é uma estrutura resistente ou não. (SOUZA; RIPPER, 2009)

Quadro 4 - Processos físicos de deterioração das estruturas de concreto

|  |                                 |  |
|--|---------------------------------|--|
| <b>PROCESSOS FÍSICOS DE DETERIORAÇÃO</b> | <b>FISSURAÇÃO</b>               | Deficiência de Projeto                       |
|  |                                 | Contração Plástica                           |
|  |                                 | Assentamento do Concreto/ Perda de Aderência |
|  |                                 | Movimentação de Escoramentos e/ou Fôrmas     |
|  |                                 | Retração                                     |
|  |                                 | Deficiência de Execução                      |
|  |                                 | Reações Expansivas                           |
|  |                                 | Corrosão das Armaduras                       |
|  |                                 | Recalques Diferenciais                       |
|  |                                 | Variação de Temperatura                      |
|  |                                 | Ações Aplicadas                              |
|  |                                 |  |
|  | <b>DESAGREGAÇÃO DO CONCRETO</b> | Fissuração                                   |
|  |                                 | Movimentação das Fôrmas                      |
|  |                                 | Corrosão do Concreto                         |
|  |                                 | Calcinação                                   |
|  |                                 | Ataque Biológico                             |
|  |                                 | <b>CARBONATAÇÃO DO CONCRETO</b>              |
|  |                                 | <b>PERDA DE ADERÊNCIA</b>                    |
|  |                                 | <b>DESGASTE DO CONCRETO</b>                  |

Fonte: SOUZA; RIPPER, 2009, Adaptado

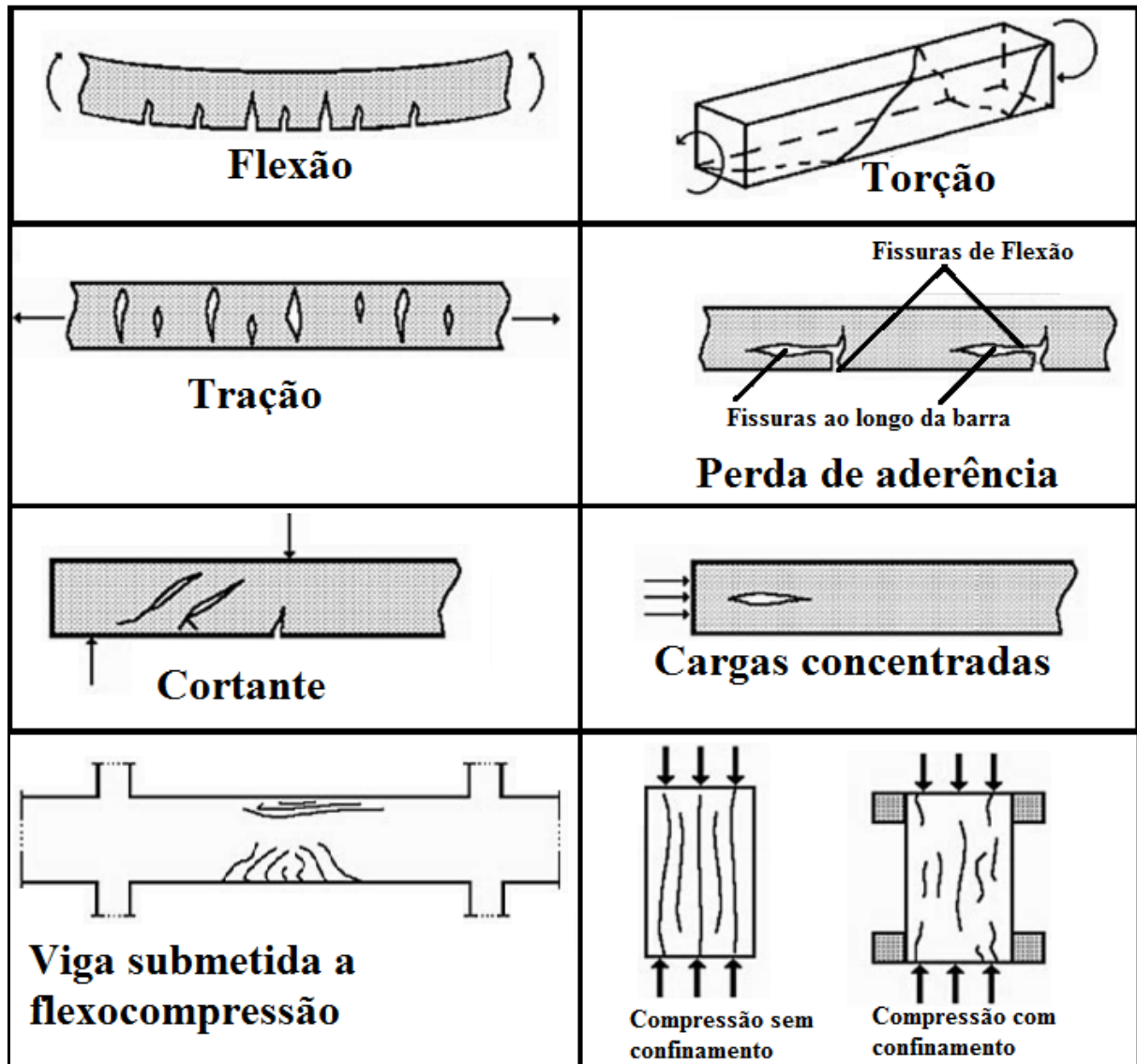
### 2.5.1 Fissuras

Toda edificação feita com concreto está sujeita a ter fissuras que podem aparecer depois de anos ou depois de algumas semanas de pronta. As fissuras podem ser por conta de algum problema na estrutura podendo ser simples ou complicada. Pode indicar que a estrutura precisa de cuidados, e esta se não for cuidada pode reagir de maneiras catastróficas. A estrutura de concreto assim como o ser humano sofre com o passar dos anos, ela sofre um desgaste natural dos materiais do concreto. (MARCELLI, 2007)

Para se caracterizar a origem, a amplitude das fissuras faz-se necessário fazer um mapeamento e classificação da mesma, visto que este fissuramento pode ter muitas causas tanto intrínsecas como extrínsecas. A falha de projeto está diretamente ligada ao quadro de fissuração, podem acontecer alguns tipos de esforços na estrutura que pode vir a provocar a

fissuração, esforços como a flexão, a torção, a tração, o esforço cortante, as cargas concentradas, a perda de aderência e há também os esforços de compressão simples e composta, como demonstrado na figura 5. (SOUZA; RIPPER, 2009)

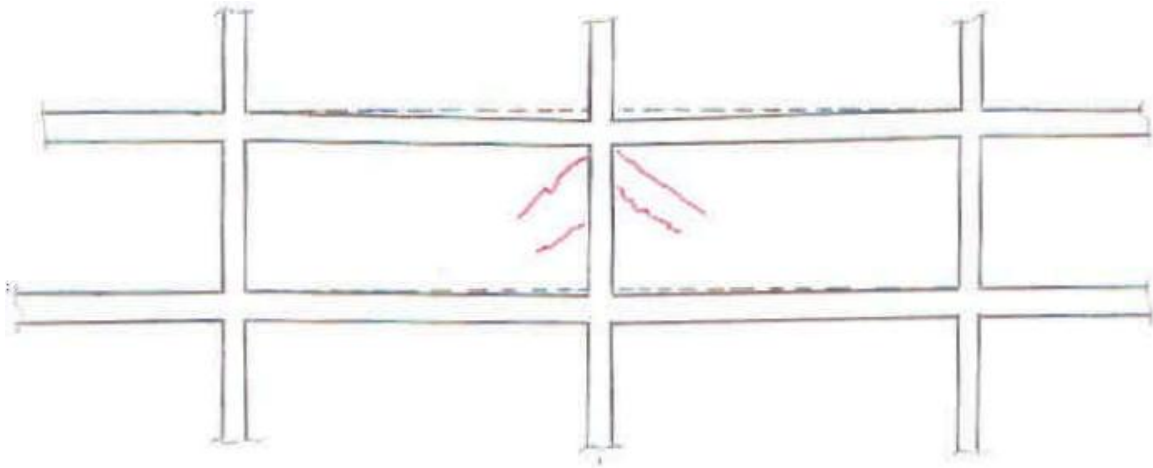
Figura 5 - Algumas configurações genéricas de fissuras em função do tipo de solicitação predominante



Fonte: SOUZA; RIPPER, 2009, Adaptado

O terreno que recebe carga pode apresentar deformações que causam prejuízos ou não, essas deformações são os recalques diferenciais que é diferença de rebaixamento vertical de uma fundação em relação a outra por meio do solo, isso gera fissuras nas estruturas, essa fissuras são inclinadas e vão rumo ao local de maior recalque e são provocadas pelas tensões de cisalhamento, como apresentado na figura 6. (OLIVARI, 2003)

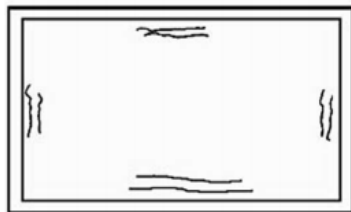
Figura 6 - Fissura de recalque



Fonte: OLIVARI, 2003

A resistência que as lajes devem atingir muitas vezes não são alcançadas por vários motivos como pelo fator de serem muito longas, pela armadura em uma só direção, pelo fato da espessura da laje não ser adequada, pela insuficiência nas armaduras, e essa lajes reagem com as fissuras como mostrado na figura 7. (SOUZA; RIPPER, 2009)

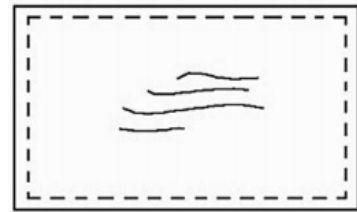
Figura 7 - Fissuração nas lajes



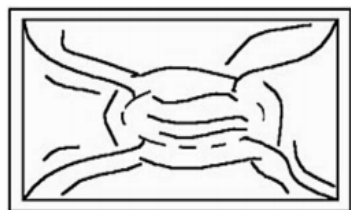
Fissuração por esmagamento do concreto, por reduzida espessura na laje. As fissuras surgem na face inferior, por deficiência diante dos momentos negativos.



Fissuração flexão, devida à insuficiência de armaduras para os momentos negativos. As fissuras surgem na face superior.



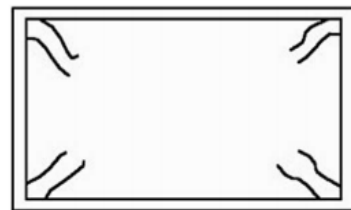
Fissuração por esmagamento do concreto, devido à reduzida espessura na laje. As fissuras surgem na face superior, por deficiência diante dos momentos positivos.



Fissuração flexão, devida à insuficiência de armaduras para os momentos positivos. As fissuras surgem na face inferior.



Fissuração por deficiência de armaduras para combater aos momentos volventes, na face superior da laje.

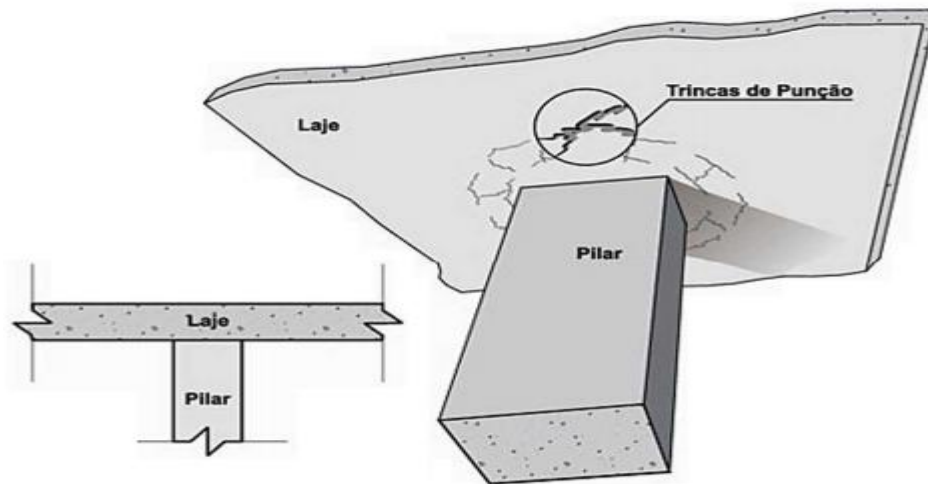


Fissuração por deficiência de armaduras para combater aos momentos volventes, na face inferior da laje.

Fonte: SOUZA; RIPPER, 2009, Adaptado

Fissuras devido à punção são por conta de elementos que recebem esforços pontuais, como mostrado na figura 8 onde o pilar encontra com a laje e se dá por um concreto que não atingiu a resistência característica esperada ou por excesso de carga sobre eles, ou uma laje muito fina provoca o fissuramento por punção sobre a laje. (MARCELLI, 2007)

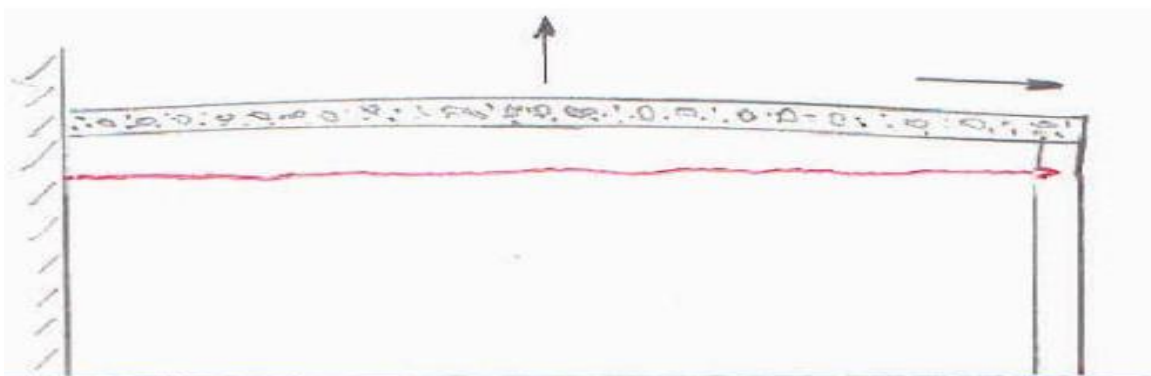
Figura 8 - Trincas de punção



Fonte: MARCELLI, 2007

Ainda sobre as lajes estas com o calor provocado pela radiação solar sofrem dilatação e contração térmica, como as lajes estão engastadas com a parede e em meio a essa dilatação que ocorre horizontalmente resultam em tensões cisalhantes e de tração nas paredes ocorrendo as fissuras e o abaulamento da laje, conforme mostrado na figura 9. (OLIVARI, 2003)

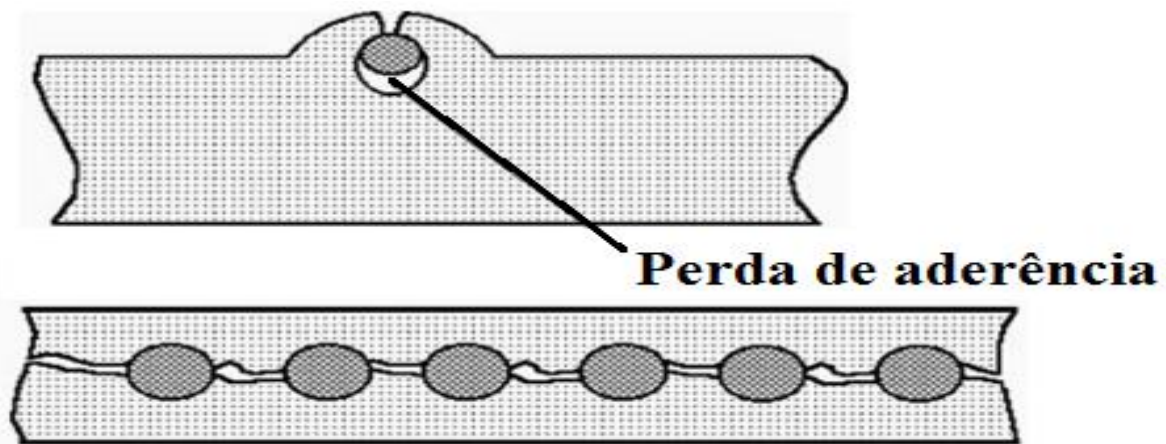
Figura 9 - Fissuras de movimentação térmica



Fonte: THOMAZ, Apud OLIVARI, 2003, p. 11

Há fissuras formadas pelo assentamento do concreto, estas ocorrem devido a ação da gravidade e são amparadas pelas fôrmas ou pelas armaduras, resultam em um efeito chamado de sombra ou parede que é o desenvolvimento de vazios de baixo das armaduras, ou quando essa armaduras estiverem muito próximas formarão vazios entre elas resultando na falta de aderência do aço com o concreto, como mostrado na figura 10, ou em circunstâncias mais críticas pode gerar a perda total da aderência. Estas fissuras são prejudiciais por que elas facilitam o ataque das armaduras, facilitando assim a corrosão. (SOUZA; RIPPER, 2009)

Figura 10 - Formação de fissuras por assentamento plástico do concreto



Fonte: SOUZA; RIPPER, 2009

A retração do concreto pode ser dar pela retração química, pela secagem, e pela retração térmica, onde a primeira é pela hidratação, a redução da água na reação química com o cimento, a segunda pela evaporação da água não aproveitada na hidratação do cimento, que reduz o volume do concreto e por fim a terceira, se dá pelo calor de hidratação e por conta do resfriamento do concreto voltando a temperatura ambiente. A fim de se impedir fissuras por retração pode se trabalhar com um concreto com o fator reduzido de água e cimento, usando apenas a quantidade para que o concreto seja trabalhável, é preciso executar uma cura do concreto adequada a fim de que a água não evapore. Observar no projeto uma armadura que possa lidar com as tensões de retração e tentar usar cimentos com baixo calor de hidratação e evitar os cimentos finos. (OLIVARI, 2003)

A fissuração do concreto pode ocorrer por erro de projeto e de execução, cura inadequada, variações de temperaturas, reações expansivas, carregamento excessivo da estrutura, ataques químicos e recalques diferenciais. (BORGES, 2008)



A fissura que está exposta à água, vapor de água ou a solo que contenha íons esta estrutura de concreto com problemas está propensa a ser agredida por cloretos que irão atacar as suas armaduras de aço, e a velocidade com que isso ocorrerá depende da qualidade do concreto e do tamanho aberto da fissura. (BISSA, 2008)

### 2.5.2 Corrosão

A corrosão se dá por conta de reações químicas ou eletroquímicas do meio ambiente. O aço do concreto tem uma película passivadora que o protege, mas este em meio aquoso ácido perde essa película e se inicia o processo de corrosão. Por isso é necessário identificar se o meio aquoso é ácido, neutro ou básico, fazer essa caracterização do meio aquosos presente no concreto se dá através do pH, se o pH for menor que 7 este será um meio ácido, maior que 7 é um meio alcalino e igual a 7 é um meio neutro, conforme a tabela 2, o meio aquoso presente no concreto geralmente é alcalino, caso o pH estiver maior que 9 formará uma película passivadora no aço. (SOUZA; RIPPER, 2009)

O aço tem uma camada protetora, que é formada na reação do cimento com a água, essa camada é o  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , esse óxido protege o aço, mas quando essa camada acaba por conta dos íons de cloreto que atacam a armadura, o processo de corrosão se inicia, os cloretos reduzem o pH do concreto de 12,5 a 13,5 abaixando-o para 5, podendo classificar como um meio ácido, gerando uma corrosão que se não feita alguma intervenção não irá parar, reduzindo assim cada vez mais o diâmetro da barra de aço. (BISSA, 2008)

Tabela 2 - Verificação do pH do meio aquoso

| íon |   | íon |   | pH | TIPO DE SOLUÇÃO  |
|-----|---|-----|---|----|------------------|
| H+  | > | OH- | < | 7  | Solução ÁCIDA    |
| H+  | = | OH- | = | 7  | Solução NEUTRA   |
| H+  | < | OH- | > | 7  | Solução ALCALINA |

Fonte: SOUZA; RIPPER, 2009, Adaptado

Com a camada de revestimento do aço corroída temos alguns tipos de corrosão: a tensão fraturante, que é quando o aço recebe um grande esforço e este não suporta, estando ele em meio invasivo, tornando-o inviável ao uso. A corrosão por hidrogênio torna o aço fraco, a corrosão por pite pode ser subdividida em dois a corrosão localizada que é a união dos cloretos com a água e o oxigênio, resultando em uma corrosão localizada. A corrosão por

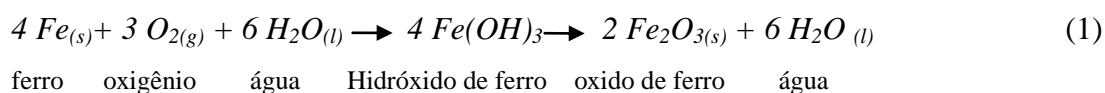
pite generalizada que é o resultado do pH menor que 9 por conta do gás carbônico encontrado na atmosfera, que adentra o concreto fissurado ou poroso e gera o fenômeno da carbonatação. (SOUZA; RIPPER, 2009)

Quando o aço sofre corrosão, ele aumenta até oito vezes mais o seu volume, o que gera uma tração no concreto. Pelo fato do concreto não ser resistente à tração ele reage com fissuras, o que faz com que o aço fique sujeito a ataques dos agentes agressores, acelerando o processo de corrosão e fazendo com que as trincas virem rachaduras e pode até haver o destacamento do concreto. Então se faz necessária a correção dessas trincas para conter o problema, mas antes deve ser feito um estudo para que se aplique a correção adequada. (MARCELLI, 2007)

A corrosão pode estabelecer um efeito de pilha no aço, transferindo do ânodo pro cátodo uma corrente elétrica e do catodo pro ânodo uma diferença de potencial. Isso gera o hidróxido ferroso que se instala no ânodo e o hidróxido férrico que fica no cátodo, estes compostos nada mais são que a ferrugem, que é o que demonstra visivelmente a corrosão do aço. (SOUZA; RIPPER, 2009)

Para a formação da ferrugem é necessária a presença de água e oxigênio, apenas com a umidade do ambiente que o meio está contido já é possível que essa água proveniente da umidade, juntamente com o oxigênio forme a corrosão do aço, conforme a equação 1. (MORAES, 2012)

Equação 1 - Formação da ferrugem



ferro    oxigênio    água    Hidróxido de ferro    óxido de ferro    água

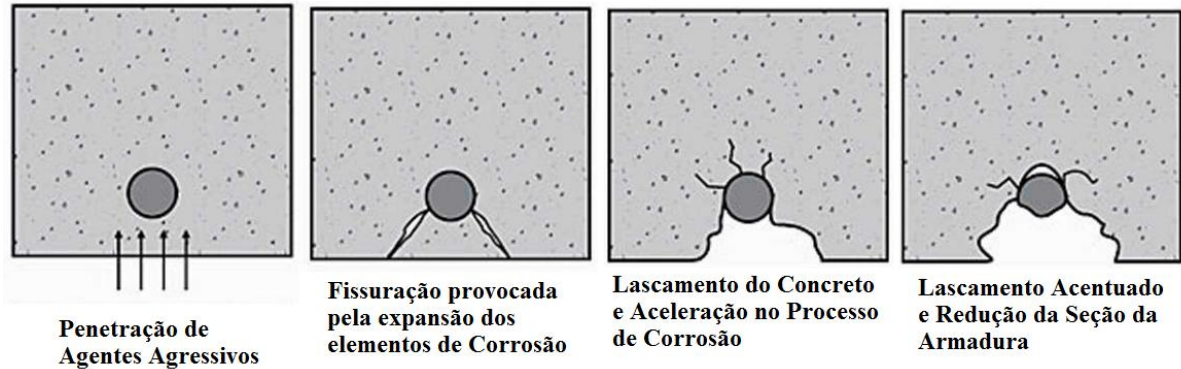
Fonte: MORAES, 2012, Adaptado

A oxidação e a corrosão são causadas pelas reações que acontecem com um material no ambiente. A oxidação é provocada pela reação gás-metal, esta reação é lenta, já a corrosão é provocada por uma camada de eletrólitos na parede de concreto, que com umidade produz a ferrugem, em uma célula há um ânodo, um cátodo, um condutor metálico e um eletrólito. Quando acontece uma diferença de potencial entre o ânodo e o cátodo aparece uma corrente elétrica, que dependendo da amplitude da corrente e do oxigênio poderá não ocorrer à corrosão, conforme as figuras 11 e 12. (HELENE, 1986)



desagregação, o que só aumenta o problema pois a armadura fica cada vez mais exposta aos agentes agressores, o que aumenta ainda mais a corrosão do aço, como o processo mostrado na figura 13. (SOUZA; RIPPER, 2009)

Figura 13 - Processo de corrosão da armadura



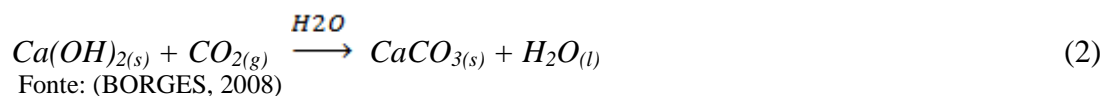
Fonte: MARCELLI, 2007, Adaptado

A desagregação do concreto é a separação de placas ou fatias de concreto onde ocorre a perda da capacidade da função de ligação do concreto. Isto acarreta a perda da resistência do concreto, onde o mesmo não resiste a esforços solicitantes. (SOUZA; RIPPER, 2009)

### 2.5.3 Carbonatação

A eflorescência é um tipo de carbonatação ocasionada pela reação do gás carbônico (CO<sub>2</sub>) com o hidróxido de cálcio Ca(OH)<sub>2</sub>, que é resultado da hidratação do óxido de cálcio presente na composição do cimento. Pelos capilares este componente químico adentra o concreto e ocorre a reação que vira carbonato de cálcio (CaCO<sub>3</sub>) o constituinte da carbonatação. Essa reação provoca uma coloração branca aparente na superfície do concreto. A fórmula da reação é a que se dá na equação 2. (BORGES, 2008)

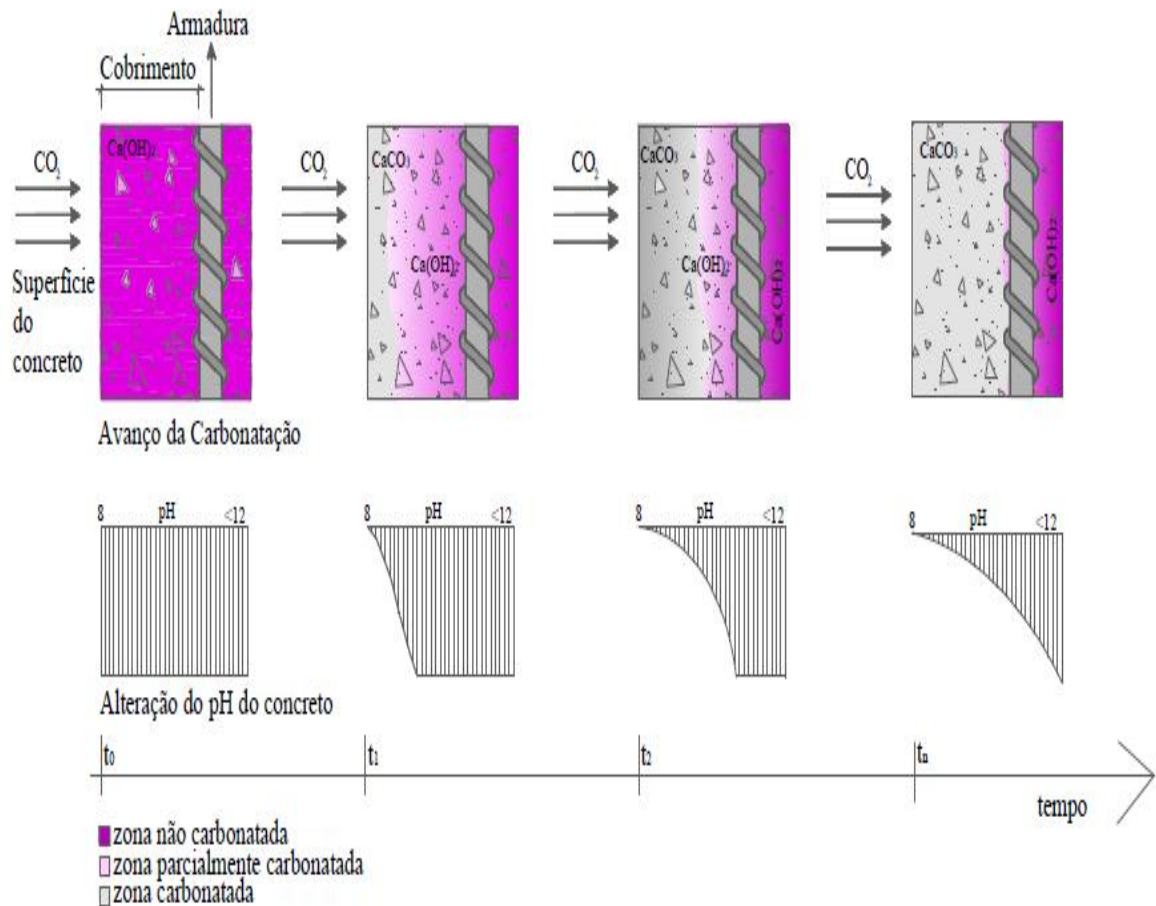
Equação 2 - Reação química da carbonatação



A carbonatação é um dos principais efeitos químicos responsáveis pela limitação da vida útil do concreto armado, pois através da diminuição da alcalinidade é mais propenso que

se inicie o processo corrosivo do aço através da carbonatação. O pH do concreto que era um meio básico com 12,5 na escala do pH, torna-se um meio ácido com 8,5 na escala do pH. A Figura 14 é a representação do avanço da frente de carbonatação e alteração do pH do concreto no tempo. (POSSAN 2010)

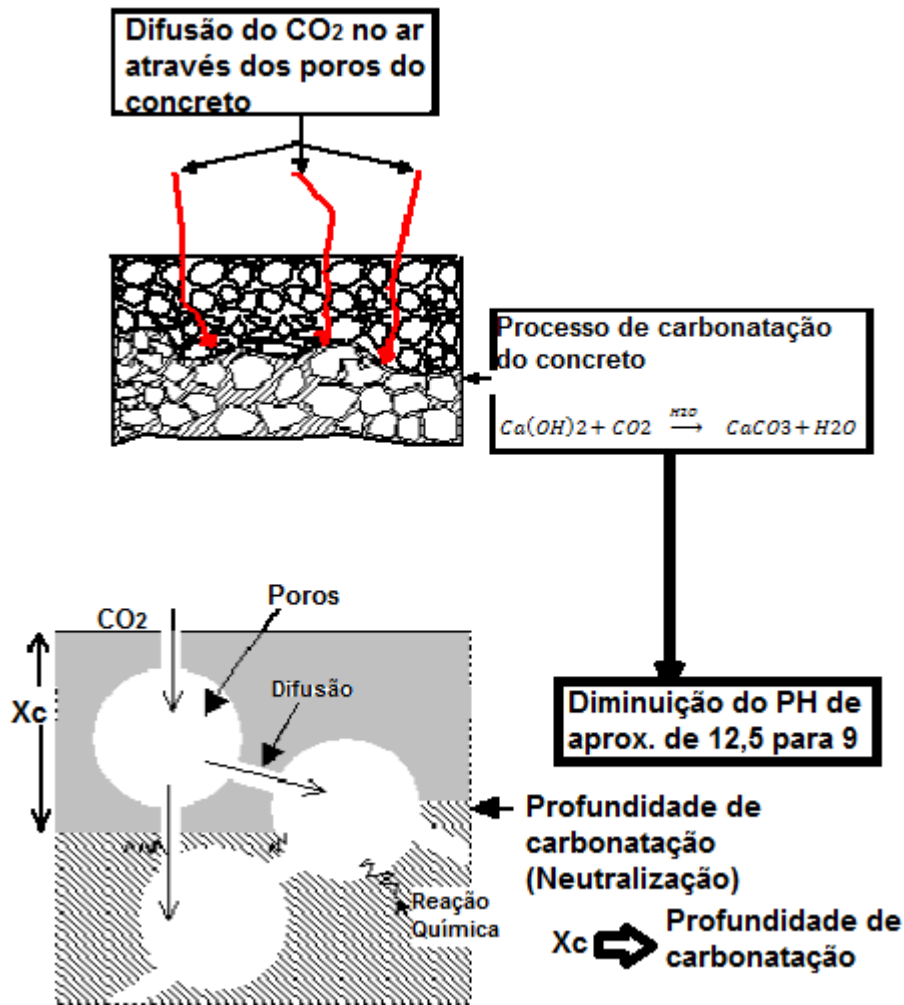
Figura 14 - Representação do avanço da frente de carbonatação e alteração do pH do concreto no tempo.



Fonte: Possan 2010

É necessário dizer que esse mecanismo se agrava em caso de materiais mais porosos, ou seja, concretos porosos, por falta de adensamento correto, por causa de cura inadequada por causa do teor de cimento, areia e qualidade de compactação, ou seja, quanto menor for seu teor de cimento e maior for a quantidade de areia e estes fatores estiverem associados à má compactação, mais permeável ou poroso será o concreto, e que apresentam um quadro de fissuração. Devido a maior facilidade de acesso do  $\text{CO}_2$  até maiores profundidades no interior do concreto caracterizando o avanço da formação da carbonatação (neutralização do hidróxido de cálcio com formação do carbonato), ocorre uma difusão do  $\text{CO}_2$  no ar através dos poros do concreto. Conforme a figura 15. (BORGES, 2008)

Figura 15 - Avanço do processo de carbonatação



Fonte: BORGES, 2008, Adaptado

Desse modo, pela concentração de CO<sub>2</sub> na atmosfera, a permeabilidade do concreto e a existência de um quadro de fissuração na estrutura, a carbonatação pode promover a destruição do filme óxido responsável por essa proteção e, por consequência, propiciar a corrosão das barras de aço do concreto através da ação de deterioradores, como cloretos. (BORGES, 2008)

As reações dos materiais dependem da velocidade de degradação, depende da natureza do material, do contato com os agentes de deterioração. Ao se examinar o desgaste ou defeito é possível classificar se o problema está na estrutura ou no material, se foi causado por conta de falhas no projeto ou na execução, quando esta se encontra comprometida pode haver uma intervenção técnica imediata a fim de poder continuar usando a estrutura sem que esta seja condenada por conta de seus problemas. (SOUZA; RIPPER, 2009)

O tipo do cimento, do aglomerante e o grau de hidratação, a relação água - cimento (a/c) são fatores que influenciam no aspecto do concreto, e influenciam também no seu grau de carbonatação, se o concreto for poroso ele é bastante permeável, quanto mais poroso o concreto mais suscetível a carbonatação, o meio em que o concreto está inserido e as causas intrínsecas de deterioração são fatores determinantes para a carbonatação, as características do concreto resultam em uma consequência conforme mostrado na tabela 3. (BARIN, 2008)

Tabela 3 - Variações nas propriedades físicas devido à carbonatação.

| Características                   | Consequência   |
|-----------------------------------|--|
| Porosidade                        | Tende a diminuir. Os poros maiores se enchem de carbonato de cálcio que têm maior volume molar que o hidróxido de cálcio inicial. Inesperadamente isto leva a maior difusão do CO <sub>2</sub> , talvez devido à retração durante a carbonatação ou à variação da distribuição do sistema de poros para um maior tamanhos médio dos poros. |
| Tortuosidade                      | É maior que em um sólido não-carbonatado, então a carbonatação pode levar a uma lixiviação mais rápida de algumas espécies.  |
| Distribuição do tamanho dos poros | Um material carbonatado pode ter aproximadamente duas vezes mais volume que um não - carbonatado. O carbonato de cálcio precipitado tem solubilidade muito baixa e então bloqueará o sistema de poros. Entretanto, devido à expansão de volume envolvida na reação, existirá microfissuras na região carbonatada.                          |

Fonte: BERTOS, Apud BARIN, 2008, P 49

O concreto pode sofrer corrosão por meio da lixiviação, corrosão química por reação dos íons e a corrosão por expansão. A lixiviação é o resultado da atração do hidróxido de cálcio presente no Cimento Portland (CP) e da condução, da junção dele em um mesmo lugar formando as chamadas estalactites. A expansão do concreto se dá pelo próprio material que compõe o cimento, se os sulfatos entrarem em contato com água poluída ou do mar estes reagirão com a expansão. (SOUZA; RIPPER, 2009)

### 3 RECUPERAÇÃO

Quando é possível ver em uma peça de concreto com alguma manifestação patológica, esta indica que ela precisa de uma manutenção. Primeiramente é necessário fazer um estudo do problema e ponderar o motivo, o por quê da manifestação patológica, então depois de analisado com cuidado faz-se um estudo para caracterizar qual a melhor recuperação ou reforço possível de ser aplicado à peça de concreto. (BORGES, 2008)

Para que seja feita uma escolha correta do tipo de intervenção a ser aplicada deve ser observado com cuidado a sua causa, o tipo de tecnologia que será aplicado, como será executada a recuperação ou o reforço, para que esses fatores determinem que posteriormente a estrutura esteja bem executada e que ela garanta a sua durabilidade. (SOUZA; RIPPER, 2009)

A recuperação para a corrosão de armaduras tem início com uma limpeza seja por jato de areia ou por apicoamento do concreto que está com problema, depois é necessário fazer uma análise para se caracterizar se o aço que foi atacado ainda se encontra em bom estado, se este não estiver resistente o suficiente adiciona-se novas armaduras e por fim determina-se o recobrimento das armaduras com um concreto que esteja com o mínimo possível de porosidade a fim de conter o ataque das armaduras por meio dos agentes agressores. (HELENE, 1986)

A lavagem da superfície do concreto é de suma importância pois o concreto para ser recuperado precisa ser retirado primeiramente todos os resíduos para posteriormente aplicar a recuperação, uma das lavagens a ser empregada é a lavagem pela aplicação de soluções ácidas que tem o objetivo da retirada de ferrugens, tintas, graxas, resíduos, carbonatos, manchas de cimento, nesta lavagem deve ser observada algumas características, o concreto não pode ser muito esbelto, o concreto deve ser molhado antes da lavagem a fim de se evitar que o ácido prejudique o concreto que está em bom estado, após a aplicação deve ser feita a lavagem pra a retirada do ácido, com a solução de amônia e água na proporção de 1:4 e depois jogar água limpa. Há a lavagem por soluções alcalinas, ela pode provocar reação junto aos agregados, e não será eficiente na limpeza de produtos corrosivos. Há também a lavagem com jato de água, para lavagens simples é utilizada a água fria algumas vezes é aplicada juntamente com jato de areia, para superfícies gordurosas ou com impregnação química utiliza-se jatos de água quente colocando juntamente removedores biodegradáveis. (SOUZA; RIPPER, 2009)

Para evitar a desintegração é feita a proteção do concreto colocando a vedação de resina acrílica, epóxica, poliuretânica, de silicone ou asfáltica. Quando se tem fundações em que estão sujeitos a agentes agressores no terreno deve - se aplicar um concreto bem



compactado e fazer drenos para que o solo fique seco a fim de evitar que os agentes agressores presentes no meio aquoso entre em contato com a fundação, não agredindo a superfície da mesma. (BORGES, 2008)

O tratamento das fissuras começa com a identificação das causas, é necessário saber se ela está ativa ou não, se ela varia a sua espessura, sua profundidade, se é preciso o reforço. Para se recuperar as fissuras ativas inicialmente deve ser parada a fim de que depois de recuperada ela não volte a abrir, então é necessário fazer uma vedação dos bordos e depois colocar um material elástico até o cobrimento completo da área da fissura e nas fissuras passivas deve ser preenchida com resinas epoxídicas. (SOUZA; RIPPER, 2009)

O cobrimento pode ser feito com concreto projetado, ele adere ao concreto antigo com facilidade e não é necessário a colocação de fôrmas, o cobrimento também pode ser feito com adesivo epóxi que não permite que o concreto seja permeável, dificultando a carbonatação e conseqüentemente a corrosão do aço. Também pode ser aplicado a argamassa polimérica que tem a vantagem de ser muito durável, impermeável e adere facilmente ao concreto antigo, mas a desvantagem é que tem um alto custo. Pode - se aplicar o grout pois ele adere ao concreto antigo e não retrai, uma característica muito importante para se evitar novas fissuras, é uma argamassa a base mineral ou epóxi e são auto - adensáveis podendo atingir locais de difícil acesso com mais facilidade. Ainda para o cobrimento pode ser usado um concreto ou argamassa comum desde que eles tenham o traço correto e a relação a/c seja bem dimensionada a fim de que o concreto ou a argamassa não fiquem porosos, é necessário uma boa técnica para que o concreto novo seja aderente ao antigo. (HELENE, 1986)

Para reforço de lajes com armaduras negativas coloca-se novas barras e põe resina epóxi nelas e faz o cobrimento com argamassa ou grout. Já a laje com a armadura positiva faz-se o apicoamento e coloca novas armaduras fixadas com grampos , arames ou pinos e faz o recobrimento da armadura. A execução do reforço da viga é por meio do aumento da armadura de flexão positiva ou negativa e o acréscimo da armadura transversal, pode ser feito a colagem de chapas de aço, pode aumentar as armaduras longitudinais juntamente com o aumento da seção do concreto. Os pilares para serem executados os reforços em alguns casos é só acrescer a seção das armaduras transversais e em alguns caso também será necessário aumentar a seção do concreto, os pilares também podem ser reforçados com perfis metálicos. (SOUZA; RIPPER, 2009)

Uma maneira de conter a corrosão do aço é através da galvanização, é o processo onde o elemento zinco, atua como anodo de sacrifício, protegendo catodicamente o aço do meio ambiente agressivo, e se ainda assim o zinco for corroído ele reage com meios ácidos e

alcalinos, essa reação faz com que o processo de corrosão seja lento, essa reação não expande com um volume tão grande como a ferrugem e não causa fissuramento. (HELENE, 1986)

Há vários tipos de concreto, com adições diferenciadas, mas um muito interessante a fim de se evitar vários fatores responsáveis pela deterioração do concreto é o concreto com sílica ativa, nele está presente a sílica amorfa  $\text{SiO}_2$  em mais de 85% da composição, os fatores pelo qual ele é vantajoso é que ele tem maior resistência a compressão e a tração, é menos permeável pelo fato de ser menos poroso, é muito resistente à abrasão e a erosão, resistente a ataques de sulfatos e cloreto, tem uma maior trabalhabilidade quanto a união do concreto velho com o novo e por fim apresenta um índice pequeno correspondente à reflexão do concreto projetado. (SOUZA; RIPPER, 2009)

Dependendo do meio onde a estrutura está presente, faz - se necessário tomar cuidados para a proteção dela, por exemplo se tiver contida no meio onde ela recebe respingos do mar, ela está contida num meio muito agressivo. Por estar contida em meios agressivos o aço recebe uma proteção, como no processo da galvanização, como no revestimento com resinas sintéticas, ou pode se aplicar a proteção no próprio concreto com a adição de inibidores de corrosão ou tintas resinadas ou asfálticas. (CÁNOVAS, Apud BORGES, 2008, p.37)

Há vários tipos de inibidores químicos, há os inibidores anódicos, há a reação catódica, há a reação mista que mistura os inibidores anódicos com os catódicos, e todos eles atuam na quebra da ligação eletroquímica da corrosão. Esses inibidores devem ser dosados corretamente pois se dosados errado pode até causar corrosão por conta da diferença da concentração, em geral esses inibidores são colocados no concreto quando se tem presente os cloretos. (HELENE, 1986)

Também é necessário se fazer um estudo para saber se o concreto tem pouca condutividade elétrica, pois assim é mais viável a instalação de um retificador que serve para transformar a corrente elétrica de alternada para corrente contínua, esse retificador de corrente elétrica serve como fonte de proteção catódica. (BORGES, 2008)

É preferível que se faça ensaios para que se possa fazer a proteção correta das armaduras, o uso de resinas epóxi, betume, asfaltos, colmatação superficial, borracha clorada, se forem bem executadas são de suma importância para evitar a corrosão das armaduras. Se o aço galvanizado estiver sendo corroído o revestimento epóxi não fará efeito, sendo necessário fazer uma pintura com cimento misturado com inibidores e caseína que ajuda o concreto novo se aderir ao antigo. A qualidade depende do preparo da superfície a ser aplicada, ela deve ser

bem limpa, sem a presença de graxa, pó, óleo, nata porosa e somente depois aplicado o revestimento. (HELENE, 1986)

O processo da recuperação do concreto cuja armadura passa pelo processo de corrosão é o escoramento da estrutura, depois faz-se a retirada de todo o concreto danificado, até que se chegue ao aço e faz a inspeção para saber as condições de corrosão que o mesmo se encontra, faz a limpeza e depois o tratamento do aço, faz o lixamento e a escovação do aço para que seja retirada a camada corroída, depois é aplicado um anticorrosivo ou uma impermeabilização com resina epóxi. após isso deve ser feito a limpeza por jato de água ou ar, depois da superfície seca, faz a colocação da fôrma, então pode ser feito a recomposição do concreto, por meio de grout, argamassa polimérica ou microconcreto. Depois da cura bem executada lançar no concreto resinas epóxi ou tinta asfáltica a fim de impermeabilizar o concreto. (BORGES, 2008)

#### 4 ESTUDO DE CASO

Foi realizado um estudo na cidade de Anápolis no endereço da rua Venezuela, bairro Jardim das Américas, este estudo trata de apontar os erros, defeitos ou deterioração nos reservatórios da estação de tratamento de água (ETA), da SANEAGO de Anápolis, estes reservatórios são abastecidos pelo sistema Piancó, conforme mostrado na figura 16.

Figura 16 - Entrada da estação de tratamento de água da SANEAGO



Fonte: autor

A captação de água de Anápolis GO é feita com 4 bombas, dentre essas, três são usadas constantemente, e uma fica de reserva para o caso de alguma estragar, a ETA foi projetada para uma vazão de 600 L/s (litros por segundo), mas hoje ela trabalha com uma vazão constante de 880 L/s (litros por segundo), ao sair do sistema de captação Piancó duas adutoras encaminham a água, depois reduzindo para uma única adutora de 800 mm de diâmetro. Ao chegar na ETA esta água passa pelo processo de tratamento, depois do processo

de tratamento a mesma é encaminhada para seus reservatórios, que data da década de 70, o padrão de reservatórios usado na ETA é de concreto conforme mostrado na figura 17 eles estão dispostos como circular elevados e circular semi - apoiados.

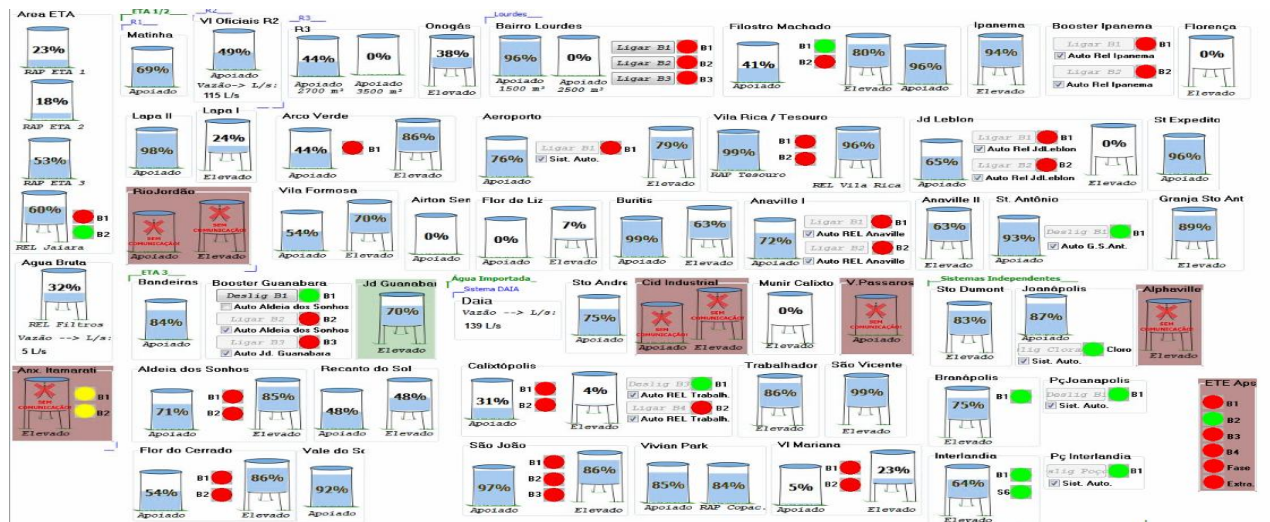
Figura 17 - Reservatórios da ETA - SANEAGO Anápolis



Fonte: autor

Após a reservação na ETA a água é redistribuída para os outros 64 reservatórios de distribuição existentes na cidade até o presente momento, espalhados pela cidade de Anápolis são distribuídos entre apoiados e elevados, esta figura 18 é o painel de controle da central de controle dos reservatórios, se der algum problema nas bombas neste painel aponta cada problema, se por acaso houver queda de energia e os reservatórios transbordarem também é apontado neste painel.

Figura 18 - Painel de reservatórios de distribuição - SANEAGO Anápolis



Fonte: SANEAGO

Em visita aos reservatórios da ETA, realizada juntamente com um supervisor da SANEAGO no mês de fevereiro, foi feito um levantamento dos reservatórios presentes no

sistema da ETA, as instalações de reservação de água são antigas, e já é previsto uma ampliação da ETA para o próximo ano. Nesta visita foi possível fazer o levantamento da quantidade de reservatórios no local, hoje a estação conta com 6 reservatórios, entre estes 4 são para armazenar a água e depois redistribuí-la, estes quatro são o ETA I,(figura 19) ETA II (figura 24) e ETA III (figura 28) esses são semi - enterrados com capacidade de 2700 m<sup>3</sup> de água cada um, e o ETA I elevado Jaiara (figura 32) com 200 m<sup>3</sup> de capacidade de reservação de água. Há um reservatório que é de uso exclusivo para a manutenção da ETA e para a lavagem de filtros como mostrado na (figura 37) e por fim o sexto reservatório presente na unidade é elevado, mas este encontra-se desativado, pois este não está apto ao uso por conta de problemas existentes na sua estrutura.

#### 4.1 ETA I SEMI - ENTERRADO

Figura 19 - Placa de identificação do reservatório ETA I - SANEAGO Anápolis



Fonte: autor

Ao se fazer uma inspeção visual deste reservatório, pode se observar em uma vista geral do reservatório, (figura 20) ele é de forma circular semi - enterrado é possível ver que a tampa do reservatório encontra-se com algumas falhas, na (figura 21) é possível ver mais aproximadamente a situação a que se encontra a tampa do reservatório, é visível que o concreto desagregou, deixando exposta uma malha de aço.

Figura 20 - Vista geral do reservatório ETA I - SANEAGO Anápolis



Fonte: autor



Figura 21 - Tapa do reservatório ETA I - SANEAGO Anápolis



Fonte: autor

Além da tapa está na situação de deterioração por desagregação, também as paredes externas do reservatório (figura 22) estão com sinais e marcas de infiltração, também é observada algumas fissuras (figura 23).

Figura 22 - Infiltração na parede externa do ETA I - SANEAGO Anápolis



Fonte: autor

Figura 23 - Fissura na parede externa do ETA I - SANEAGO Anápolis



Fonte: autor

#### 4.1.1 Diagnóstico do ETA I semi - enterrado

O reservatório ETA I apresenta uma desagregação do concreto, na parte superior da tampa, há infiltrações bem visíveis decorrentes por conta das fissuras encontradas nas paredes externas no reservatório.

##### a) Umidade

- Manifestações
  - infiltração ou fluxo de água;
  - manchas que demonstram a presença de umidade.
- Causas admissíveis
  - falta de impermeabilização das paredes (falha provável na etapa de projeto ou execução);
  - falta da mísula, o que resulta em fissuração (etapa de projeto);
  - falta de manutenção.

##### b) Fissuras

- Manifestações
  - infiltração ou fluxo de água;
- Causas admissíveis
  - falta de manutenção;
  - variação da temperatura.

##### c) Desagregação

- Manifestações
  - infiltração ou fluxo de água;
- Causas admissíveis
  - falta de manutenção

#### 4.1.2 Recuperação do ETA I semi - enterrado

A recuperação proposta para o reservatório ETA I em relação à desagregação do concreto da tampa é necessário fazer o apicoamento de toda a superfície do concreto desagregado, logo após toda a retirada do concreto danificado, fazer a limpeza da tampa do reservatório através da lavagem com a aplicação de ácidos para que seja retirado todos os resíduos e ferrugens presentes na malha de aço da tampa do reservatório, fazer a reposição da

malha de aço onde for necessária, e logo após a limpeza e a lavagem com jato de água aplicar novamente uma camada de concreto simples, e uma manta impermeável, a fim de evitar infiltrações.

Ao fazer a recuperação das fissuras, encontra-se a necessidade de ser fazer a paralisação do reservatório, esvaziá-lo totalmente e analisar por dentro dele se há fissuras internas, se as fissuras externas estão continuando até a parede interna, ou se há fissuras isoladas nas paredes internas, qual o tamanho dessas aberturas, é preciso identificar para sanar o problema, antes de se fazer a recuperação das fissuras. Após identificado fazer a lavagem interna do reservatório com jatos de água e após isso passar sobre as paredes internas uma camada de uma massa impermeabilizadora, uma camada epóxi ou aplicar uma manta asfáltica impermeável e esperar o tempo de cura adequado e logo após já pode ser preenchido com água novamente. Para as fissuras externas faz - se necessário uma limpeza com jato de água e uma aplicação do material rígido epóxi ou grout.

A proposição feita para sanar a infiltração é passar a manta asfáltica ou a camada epóxi, logicamente deve ser preparada a parede anteriormente através de lavagem a jato de água ou a jato de areia.

#### 4.2 ETA II SEMI - ENTERRADO

O reservatório, ETA II (figura 24) tem as características patológicas muito parecidas com o ETA I, pode se observar em uma vista geral do reservatório, (figura 25) que ele é de forma circular semi - enterrado é possível ver mais aproximadamente a situação a que se encontra a tampa do reservatório, (figura 26) é visível que o concreto desagregou, deixando exposta a malha de aço. Além da tampa está na situação de deterioração por desagregação, também as paredes externas do reservatório (figura 27) estão apresentando micro - fissuras e marcas de infiltração.

Figura 24 - Placa de identificação do reservatório ETA II - SANEAGO Anápolis



Fonte: autor



Figura 25 - Vista geral do reservatório ETA II - SANEAGO Anápolis



Fonte: autor

Figura 26 - Concreto desagregado e malha de aço exposta do reservatório ETA II



Fonte: autor

Figura 27 - Micro - fissuras e infiltração ETA II



Fonte: autor

#### 4.2.1 Diagnóstico do ETA II semi - enterrado

O reservatório ETA II apresenta uma desagregação do concreto, na parte superior da tampa, há infiltrações bem visíveis decorrentes por conta das fissuras encontradas nas paredes externas no reservatório.

##### a) Umidade

- Manifestações

- infiltração ou fluxo de água;
- manchas que demonstram a presença de umidade.

- Causas admissíveis

- falta de impermeabilização das paredes (falha provável na etapa de projeto ou execução);
- falta da mísula, o que resulta em fissuração (etapa de projeto);
- falta de manutenção.
- entrada de água através das fissuras

##### b) Fissuras

- Manifestações

- fissuras leve;
- aparição rápida de fissuras pouco profundas que se cortam umas com às outras;
- infiltração ou fluxo de água.

- Causas admissíveis

- excesso de cimento ou de água;
- Inertes de má qualidade;
- forte ação do vento e do sol
- variação da temperatura.
- falta de manutenção;

##### c) Desagregação

- Manifestações

- infiltração ou fluxo de água;

- Causas admissíveis

- falta de manutenção.

#### 4.2.2 Recuperação do ETA II semi - enterrado

A recuperação proposta para o reservatório ETA II é bem parecida com o anterior, visto que as manifestações patológicas encontradas neste reservatório se assemelham com as manifestações do reservatório ETA I. Em relação à desagregação do concreto da tampa é proposto o apicoamento de toda a superfície do concreto desagregado e ao redor, logo após toda a retirada do concreto danificado, fazer a limpeza da tampa do reservatório através da lavagem com a aplicação de ácidos para que sejam retirados todos os resíduos e ferrugens presentes na malha de aço da tampa do reservatório, fazer a reposição da malha de aço onde for necessária e logo após a limpeza e a lavagem com jato de água aplicar novamente uma camada de concreto simples e uma manta impermeável, a fim de evitar infiltrações.

Para a recuperação das fissuras se propõe a necessidade de ser fazer a paralisação do reservatório, esvaziá-lo totalmente e analisar por dentro dele se há fissuras internas, se as fissuras externas estão continuando até a parede interna, ou se há fissuras isoladas nas paredes internas, qual o tamanho dessas aberturas, é preciso identificar para sanar o problema, antes de se fazer a recuperação das fissuras. Se houver fissuras internas estas devem ser tratadas a fim de se evitar o desperdício de água e pra sanar o problema de infiltrações externas. Após identificado fazer a lavagem interna do reservatório com jatos de água e após isso passar sobre as paredes internas uma camada de uma massa impermeabilizadora, uma camada epóxi ou aplicar uma manta asfáltica impermeável e esperar o tempo de cura adequado e logo após já pode ser preenchido com água novamente. Para as fissuras externas faz - se necessário uma limpeza com jato de água e uma aplicação do material rígido epóxi ou grout.

A proposição feita para sanar a infiltração é passar a manta asfáltica ou a camada epóxi, antes deve ser preparada a parede através de lavagem a jato de água ou a jato de areia.

#### 4.3 ETA III SEMI - ENTERRADO

O reservatório, ETA III (figura 28) é um dos reservatórios que se encontra com menos manifestações patológicas, mas ainda pode se observar em uma vista geral do reservatório, (figura 30) que ele também é de forma circular semi - enterrado nota-se que a tampa do reservatório encontra-se com pequenas falhas (figura 29). As paredes externas do reservatório (figura 22) estão com pequenos sinais de infiltração, também é observada algumas fissuras pequenas na parte próxima ao solo (figura 23).

Figura 28 - Placa de identificação do reservatório ETA III



Fonte: autor

Figura 29 - Tampa do reservatório ETA III



Fonte: autor

Figura 30 - Fissura próxima ao solo do ETA III



Fonte: autor



Figura 31 - Vista geral do reservatório ETA III



Fonte: autor

#### 4.3.1 Diagnóstico do ETA III semi - enterrado

O reservatório ETA III apresenta pequenas falhas no concreto, na parte superior da tampa, há infiltrações nas paredes externas próximas ao solo com algumas fissuras visíveis, uma possível causa da umidade na parede próxima ao solo é o contato do solo com a água, na parede sem impermeabilização

##### a) Umidade

- Manifestações
  - infiltração ou fluxo de água;
  - manchas que demonstram a presença de umidade.
- Causas admissíveis
  - falta de impermeabilização das paredes (falha provável na etapa de projeto ou execução);
  - falta da mísula, o que resulta em fissuração (etapa de projeto);
  - reação no concreto com a água e o solo;
  - falta de manutenção.

##### b) Fissuras

- Manifestações
  - infiltração ou fluxo de água;
- Causas admissíveis

- falta de manutenção;
- variação da temperatura.

c) Desagregação

- Manifestações
  - infiltração ou fluxo de água;
- Causas admissíveis
  - falta de manutenção

#### **4.3.2 Recuperação do ETA III semi - enterrado**

O que se propõe para o reservatório ETA III em relação à desagregação do concreto da tampa é o apicoamento da superfície danificada, logo após toda a retirada do concreto danificado, fazer a limpeza da tampa do reservatório através da lavagem com a aplicação de ácidos para que seja retirado todos os resíduos e ferrugens presentes na malha de aço da tampa do reservatório, neste reservatório não se faz necessário a reposição da malha de aço visto que a desagregação do concreto neste caso é bem superficial e logo após a limpeza e a lavagem com jato de água aplicar novamente uma camada de concreto simples, e aplicar uma manta impermeável, a fim de evitar infiltrações.

Se propõe que neste reservatório semi - enterrado seja retirada uma camada de terra próximo a borda inferior da parte externa do reservatório e que seja feita uma lavagem, à jato de água, de toda a parede externa e depois aplicar uma camada de impermeabilizante epóxi sobre toda a parede, a fim de se evitar infiltrações e sanar as pequenas fissuras encontradas na parte externa próximas ao solo, depois de uma cura apropriada, retornar a camada de terra retirada.

#### **4.4 ETA I ELEVADO**

O reservatório elevado Jaiara ETA I (figura 32) é de concreto armado, de formato cilíndrico, apoiado por seis pilares, contraventados, (figura 33) com capacidade de receber 200 m<sup>3</sup> de litros de água. O reservatório não apresentou nenhum indício de recalque diferencial e de instabilidade, que pudessem comprometer o uso dele.

Figura 32 - Placa de identificação do reservatório elevado ETA I - Jaiara



Fonte: autor

#### 4.4.1 Diagnóstico do ETA I elevado

O reservatório apresenta infiltrações na parede externa e no fundo da cuba (figura 34), apresenta sinais de infiltração em alguns pilares. É possível identificar manchas de cor escura (figura 36) e de cor branca presentes nas paredes e nos pilares. As paredes da cuba também apresentam um material leitoso na parede externa que indica ser carbonato de cálcio (figura 35) e o início de formação de estalactites, esses efeitos apresentados causam danos, comprometendo a vida útil do reservatório.

##### a) Umidade

- Manifestações
  - infiltração ou fluxo de água;
  - infiltração na cuba e nos pilares;
  - manchas que demonstram a presença de umidade.
- Causas admissíveis
  - falta de impermeabilização das paredes (falha provável na etapa de projeto ou execução);
  - falta da mísula, o que resulta em fissuração (etapa de projeto);
  - abertura nas juntas de concretagem (ausência de tratamento nas juntas);
  - Fissuras por variação de temperatura;
  - fissuras provenientes da corrosão das armaduras nos pilares e vigas (etapa de projeto falta de impermeabilização);
  - falta de manutenção.

##### b) Carbonatação

- Manifestações
  - Carbonato de cálcio saliente na superfície da parede da cuba do reservatório;
- Causas admissíveis
  - Porosidade excessiva do concreto (etapa de execução, por conta de material impróprio ou por fator (a/c) inadequado e ainda pode ser por conta de uma cura inadequada);
  - fissuras (etapa de projeto);
  - infiltração de água (ausência de impermeabilização adequada);
  - falta de manutenção;
  - fissuras nas juntas de concretagem (etapa de execução)

c) Fissuras nas juntas de concretagem

- Manifestações
  - fissuras que vão ao longo da junta de concretagem na parede do reservatório.
- Causas admissíveis
  - falta ou erro de tratamento das juntas de concretagem (fase de execução, projeto).

d) Fissuras por variação de temperatura

- Manifestações
  - fissuras de pequena abertura e irregulares
- Causas admissíveis
  - variação da temperatura.

A umidade presente na cuba provoca as manchas como apresentada nas figuras abaixo, elas podem ser divididas as fissuras nas juntas de concretagem, pode ser por conta das infiltrações que são provocadas pelas fissuras provenientes da variação da temperatura e agentes agressores que possam ter vindo a provocar a corrosão. É bem provável que por conta das fissuras nas juntas de concretagem se resultou na corrosão das armaduras e nesta mesma região, onde houve uma grande deposição do carbonato de cálcio e se formou o aspecto leitoso e o início da estalactite.

Nas vigas e pilares foram encontradas pequenas fissuras e nelas a presença da infiltração mostrando o aspecto de cor preto no concreto. Não foi observada nenhuma fissura por conta de recalque diferencial, ou por conta de sobrecarga.



Figura 33 - Vista geral do reservatório elevado ETA I - Jaiara



Fonte: autor

Na figura 34 observou-se por conta de manchas brancas a presença de carbonatação no concreto e por conta de manchas escuras a presença de infiltração.

Figura 34 - Fundo da cuba do ETA I - Jaiara, com indícios de infiltração e carbonatação do concreto



Fonte: autor

Na figura 35 observou - se as fissuras nas juntas de concretagem na parede do reservatório, com material leitoso e o início da formação de estalactites pela presença de carbonato de cálcio.

Figura 35 - Fissuras nas juntas de concretagem e formação de estalactites no ETA I - Jaiara



Fonte: autor



Figura 36 - Parede com manchas de cor escura e branca no ETA I - Jaiara



Fonte: autor

#### 4.4.2 Recuperação do ETA I elevado

Em relação a umidade a recuperação proposta para o reservatório elevado ETA I, é a inspeção na parte interna e verificar se não há a presença de fissuras que podem acarretar a infiltrações e o transporte de água para a o meio externo do reservatório causando prejuízos com a perda de água, depois de verificado nas paredes, no fundo e nas vigas e pilares faz-se a limpeza com jato de água e areia e depois passa-se uma camada de manta asfáltica ou a camada epóxi.

Para a recuperação das fissuras da junta de concretagem primeiramente o reservatório deve ser paralisado, então se propõe a lavagem com soluções ácidas a fim de retirar todos os agentes agressores, como os carbonatos que estão atacando o meio, em algumas juntas de concretagem é necessário fazer o apicoamento para a verificação da armadura, se esta não foi atingida pelo concreto carbonatado, se a armadura foi atingida retira o concreto degradado e faz a lavagem e o lixamento da armadura, depois esta precisa ser tratada com um anticorrosivo ou uma impermeabilização com resina epóxi. após isso deve ser feito a limpeza por jato de água ou ar, depois de seco, iniciar a recomposição do concreto, com grout e após a cura lançar sobre toda a superfície do concreto resinas epóxi para que ele

seja impermeabilizado e seja sanado o problema da porosidade do concreto e as infiltrações do CO<sub>2</sub> no concreto.

Para sanar o problema da fissuração por conta da temperatura é proposto o cobrimento da parede externa com concreto com sílica ativa, visto que ele apresenta a vantagem de uma resistência a compressão e à tração

#### 4.5 ETA II ELEVADO

Figura 37 - Reservatório de lavagem de filtros



Fonte: autor

##### 4.5.1 Diagnóstico do ETA II elevado

O reservatório elevado ETA II de lavagem de filtros (figura 38), apresenta infiltrações na parede externa da cuba (figura 40). As paredes externas, apresenta o início de carbonato de cálcio (figura 39) e formação de estalactite, esses efeitos apresentados causam danos, comprometendo a vida útil do reservatório.

Figura 38 - Reservatório elevado ETA II - lavagem de filtros



Fonte: autor

#### a) Umidade

- Manifestações
  - infiltração ou fluxo de água;
  - bolhas que demonstram a presença de umidade.
- Causas admissíveis

- falta de impermeabilização das paredes (falha provável na etapa de projeto ou execução);
- abertura nas juntas de concretagem (ausência de tratamento nas juntas);
- fissuras por variação de temperatura;
- falta de manutenção.

Figura 39 - Formação de estalactite no ETA II



Fonte: autor

#### b) Carbonatação

- Manifestações
  - Carbonato de cálcio saliente na superfície da parede da cuba do reservatório;
- Causas admissíveis
  - Porosidade excessiva do concreto (etapa de execução, por conta de material impróprio ou por fator (a/c) inadequado e ainda pode ser por conta de uma cura inadequada);
  - fissuras (etapa de projeto);
  - infiltração de água (ausência de impermeabilização adequada);
  - falta de manutenção;
  - fissuras nas juntas de concretagem (etapa de execução).

A umidade presente na cuba provoca as bolhas como apresentado nas figuras acima, isso pode ser provocado por conta da porosidade do concreto, das infiltrações que são provocadas pelas fissuras provenientes da variação da temperatura e agentes agressores que podem provocar a corrosão. Onde houve uma grande deposição do carbonato de cálcio e se



formou a mancha esbranquiçada e a estalactite. Não foi observada nenhuma fissura por conta de recalque diferencial, ou por conta de sobrecarga.

Figura 40 - Bolhas na superfície do ETA II



Fonte: autor

#### 4.5.2 Recuperação do ETA II elevado

Em relação a umidade a recuperação proposta para o reservatório elevado ETA II, para sanar as bolhas de umidade é proposto a lavagem com solução ácida a fim de evitar que agentes agressores continuem atingindo a parede externa, logo após a lavagem joga-se uma camada de impermeabilização das paredes através de resina epóxi. Para as fissuras por variação de temperatura faz-se a limpeza com jato de água e areia e depois passa-se uma camada de manta asfáltica ou a camada epóxi.

Para a recuperação das fissuras da junta de concretagem primeiramente o reservatório deve ser paralisado, então se propõe a lavagem com soluções ácidas a fim de

retirar todos os agentes agressores, como os carbonatos que estão atacando o meio, em algumas juntas de concretagem e inicia - se a recomposição do concreto, com grout e após a cura lançar sobre toda a superfície do concreto, resinas epóxi para que ele seja impermeabilizado e seja sanado o problema da porosidade do concreto e também o problema de infiltrações do CO<sub>2</sub> no concreto. Colocar uma manta impermeável no fundo do reservatório para evitar vazamentos e infiltrações.

#### 4.6 RESERVATÓRIO DESATIVADO

Por fim o sexto reservatório presente na ETA de Anápolis, estava tendo uma perda de água muito grande neste reservatório, então se optou pela desativação do mesmo.

Por se tratar de um reservatório de uso público, sua manutenção passa por dificuldade devido à necessidade de se fazer licitação para manutenção, o que muitas vezes leva muito tempo, até que a licitação seja aprovada e para que o dinheiro seja liberado, neste tempo por conta desses empecilhos o reservatório que já não se encontrava em bom estado passa a se tornar inutilizável por conta da falta de manutenção.

##### 4.6.1 Diagnóstico do reservatório desativado

Toda a superfície do reservatório encontra-se com manchas de infiltração e manchas esbranquiçadas caracterizando a carbonatação, como é evidente na figura 41.

O reservatório tem fissuras e rachaduras gravíssimas nas paredes e nos pilares, como mostrado na (figura 43). Nas paredes há a presença e sinais da corrosão da armadura, esta já no estágio que ocorreu o lascamento (figura 42) do concreto pela da expansão do aço.

##### a) Umidade

- Manifestações

- infiltração ou fluxo de água;
- manchas que demonstram a presença de umidade.

- Causas admissíveis

- falta de impermeabilização das paredes (falha provável na etapa de projeto ou execução);
- abertura nas juntas de concretagem (ausência de tratamento nas juntas);



- fissuras por variação de temperatura;
- falta de manutenção.

#### b) Carbonatação

- Manifestações
  - manchas esbranquiçadas na cuba do reservatório;
- Causas admissíveis
  - Porosidade excessiva do concreto (etapa de execução, por conta de material impróprio ou por fator (a/c) inadequado e ainda pode ser por conta de uma cura inadequada);
  - fissuras (etapa de projeto);
  - infiltração de água (ausência de impermeabilização adequada);
  - falta de manutenção;
  - fissuras nas juntas de concretagem (etapa de execução)

#### c) Fissuras por variação de temperatura

- Manifestações
  - fissuras de grande abertura e irregulares.
- Causas admissíveis
  - variação da temperatura.

#### d) Fissuras nas juntas de concretagem

- Manifestações
  - fissuras que vão ao longo da junta de concretagem na parede do reservatório.
- Causas admissíveis
  - falta ou erro de tratamento das juntas de concretagem (fase de execução, projeto).

#### e) Desplacamento do concreto

- Manifestações
  - perda se seção da armadura e lascamento do concreto
- Causas admissíveis
  - pressão no concreto ocasionada pela expansão do aço ( devido a oxidação da armadura, pouco recobrimento do concreto nas armaduras).

Figura 41 - Vista geral do reservatório desativado



Fonte: autor

Figura 42 -Deslocamento do concreto pela corrosão da armadura no reservatório desativado da SANEAGO



Fonte: autor

Figura 43 - Trinca no pilar do reservatório desativado



Fonte: autor

A umidade presente na cuba provoca as manchas como apresentada nas figuras acima, a origem dela provem das fissuras nas juntas de concretagem, pode ser por conta das infiltrações que são provocadas pelas fissuras provenientes da variação da temperatura e

agentes agressores que possam ter vindo a provocar a corrosão. Por conta das fissuras presente em todo o reservatório se resultou na corrosão das armaduras, onde houve uma expansão do aço e provocou o deslocamento do concreto. Houve uma grande deposição do carbonato de cálcio em todo o perímetro da cuba e se formou manchas esbranquiçadas, que é a caracterização da carbonatação do concreto.

Nas vigas e pilares foram encontradas grandes aberturas e nelas a presença da infiltração mostrando manchas de cor preta no concreto. Não foi observada nenhuma fissura por conta de recalque diferencial.

#### **4.6.2 Recuperação do Reservatório Desativado**

Para fazer a recuperação do concreto, que está com a armadura corroída, faz-se a retirada de todo o concreto danificado através do apicoamento, até que se chegue ao aço e faz uma análise do aço encontrado, para saber o grau de corrosão que o mesmo se encontra, então é feita a limpeza e o tratamento dele, neste aço é necessário passar uma escova com cerdas de aço e fazer o lixamento para que seja retirada a camada corroída, depois é aplicado um anticorrosivo ou uma impermeabilização com resina epóxi. Após isso deve ser feito a limpeza por jato de água ou ar, depois da superfície seca, fazer o reforço da estrutura através de reforço do aço, faz a colocação da fôrma, então pode ser feito a recomposição do concreto, por meio de grout, argamassa polimérica ou microconcreto. Depois da cura bem executada lançar no concreto resinas epóxi ou tinta asfáltica a fim de impermeabilizar o concreto (BORGES, 2008)

Fazer o escoramento do reservatório e retirar a carga do pilar, depois fazer o apicoamento do pilar na região da trinca até chegar a armadura, para fazer uma verificação se as armaduras estão corroídas, se estiverem corroídas fazer o mesmo procedimento já citado acima, fazer uma lavagem com solução ácida, depois remover com água abundante, fazer a recuperação do pilar com concreto que contenha sílica ativa, a fim de que este seja mais resistente, seja menos poroso, seja resistente a ataques de sulfatos e cloretos.

Também é necessário fazer a adição de uma manta impermeável no fundo e nas paredes laterais do reservatório para evitar vazamentos.

Como este reservatório já está paralisado à algum tempo é necessário fazer uma análise da parte interna do reservatório para que seja recuperada as fissuras internas, , antes de se fazer a recuperação das fissuras. Se houver fissuras internas estas devem ser tratadas a fim

de se evitar o desperdício de água e pra sanar o problema de infiltrações externas. Após identificado fazer a lavagem interna do reservatório com solução ácida e com jatos de água e após isso passar sobre as paredes internas uma camada de uma massa impermeabilizadora, uma camada epóxi ou aplicar uma manta asfáltica impermeável e esperar o tempo de cura adequado, para as fissuras externas faz - se necessário uma limpeza com jato de água e uma aplicação do material rígido epóxi ou grout.

A proposição feita para sanar a infiltração é passar a manta asfáltica ou a camada epóxi, antes deve ser preparada a parede através de lavagem a jato de água ou a jato de areia

Para a recuperação das fissuras da junta de concretagem se propõe a lavagem com soluções ácidas a fim de retirar todos os agentes agressores, como os carbonatos que estão atacando o meio, em algumas juntas de concretagem é necessário fazer o apicoamento para a verificação da armadura, se esta não foi atingida pelo concreto carbonatado, se a armadura foi atingida retira o concreto degradado e faz a lavagem e o lixamento da armadura, depois esta precisa ser tratada com um anticorrosivo ou uma impermeabilização com resina epóxi. Após isso deve ser feito a limpeza por jato de água ou ar, depois de seco, iniciar a recomposição do concreto, com grout e após a cura lançar no sobre toda a superfície do concreto resinas epóxi para que ele seja impermeabilizado e seja sanado o problema da porosidade do concreto e o problema de infiltrações do CO<sub>2</sub> no concreto.

Para sanar o problema da fissuração por conta da temperatura é proposto o cobrimento da parede externa com concreto com sílica ativa, visto que ele apresenta a vantagem de uma resistência à compressão e à tração.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo buscou caracterizar os tipos de manifestações patológicas incidentes em reservatórios, as manifestações patológicas são comuns em concreto armado, mas podem ser evitadas tomando alguns cuidados. Um projeto deve ser bem desenvolvido e claro para que não haja dúvidas na fase da execução do mesmo, os profissionais devem ser bem qualificados para evitar erros na execução do projeto, a observância do local e do ambiente que a estrutura será posta é de fundamental importância pois através do estudo do ambiente pode - se prever algumas patologias que possam vir a ocorrer, então faz - se necessária a prevenção no momento da construção, haja visto que prevenir é melhor e mais barato do que fazer recuperações posteriores. Depois do fim do projeto executado faz-se necessário fazer manutenções nas estruturas, seja em um reservatório, ou em qualquer outra estrutura de concreto, para que seja prolongada sua vida útil.

Este trabalho detalhou as manifestações patológicas presentes nos reservatórios da estação de tratamento de água da SANEAGO Anápolis e se propôs algumas maneiras de recuperação das manifestações, estes reservatórios são muito antigos e é comum a aparição de manifestações patológicas, mas estas devem ser tratadas para que não corra o risco da perda do reservatório por falta de manutenção, que é o caso do último reservatório apresentado neste estudo, que no momento está desativado pela falta de manutenção prolongada que se sucedeu sobre ele, nele é encontrado carbonatação, fissuras e umidade nos pilares e paredes externas do reservatório, desagregação por expansão da armadura de aço, essas manifestações poderiam ser facilmente resolvidas, assim não provocaria a perda do reservatório.

O objetivo deste trabalho foi alcançado, pois se estudou os tipos de imperfeições que poderiam agredir um reservatório de concreto e através deste estudo pôde se identificar os tipos de imperfeições presentes nos reservatórios da estação de tratamento de água da SANEAGO e quais foram as manifestações mais incidentes nestes reservatórios, como a infiltração, a carbonatação, a corrosão das armaduras, o deslocamento, as fissuras e desagregação do concreto e através da análise de cada uma delas pôde - se fazer uma proposta de recuperação pra cada uma das manifestações patológicas encontradas.

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13725**: Perícias de Engenharia na Construção Civil. Rio de Janeiro, 1996. 08 p. Disponível em: <<http://www.scribd.com/doc/30914291/NBR-13752-Pericias-de-Engenharia-Na-Construcao-Civil-2#scribd>>. Acesso em: 16 fev. 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14931:2004 Execução de estruturas de concreto(procedimento)**. 2 ed. Rio de Janeiro: ABNT, abril 2004. 53 p. Disponível em: <<http://docente.ifrn.edu.br/valtencirgomes/disciplinas/construcao-de-edificios/nbr-14931-2004-execucao-de-estruturas-de-concreto-procedimento>>. Acesso em: 20 abr. 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 6118:2014 - Projeto de estrutura de concreto(Procedimento)**. 3 ed. Rio de Janeiro: ABNT, maio 2014. 238 p.

BARIN, Daniel Sacchet. **Carbonatação e absorção capilar em concretos de cimento portland branco com altos teores de adição de escória de alto forno e ativador químico**. 2008. 171 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Ppgec, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria - Rs. 2008. Disponível em: <[http://cascavel.ufsm.br/tede/tde\\_busca/arquivo.php?codArquivo=2209](http://cascavel.ufsm.br/tede/tde_busca/arquivo.php?codArquivo=2209)>. Acesso em: 16 set. 2014.

BISSA, Rodrigo C. Rissari. **Sistemas de impermeabilização e proteção de estruturas de concreto armado de reservatórios de água tratada atacados por cloretos**. Dez. 2008. Disponível em: <<http://www.cecc.eng.ufmg.br/trabalhos/pg1/Monografia%20Rodrigo%20C%20E9sar.pdf>>. Acesso em: 07 out. 2014.

BRASIL. LEI Nº 11.445, DE 5 DE JANEIRO DE 2007. Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico. **Casa Civil subchefia para Assuntos Jurídicos**, Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2007/lei/111445.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/lei/111445.htm)>. Acesso 24 de Nov. 2014.

BRASIL. Fundação Nacional de Saúde (FUNASA). **Manual de Saneamento**. 3º ed. rev. - Brasília: Fundação Nacional de Saúde, 2004. - Disponível em: <[http://bvsmis.saude.gov.br/bvs/publicacoes/manual\\_saneamento\\_3ed\\_rev\\_p1.pdf](http://bvsmis.saude.gov.br/bvs/publicacoes/manual_saneamento_3ed_rev_p1.pdf)> Acesso em: 20 de Nov. de 2014.

BORGES, Micheline Gonçalves, **Manifestações patológicas incidentes em reservatórios de água elevados executados em concreto armado**, Feira de Santana, 2008.

**GESTÃO DE PROJETOS NA CONSTRUÇÃO CIVIL**. Goiânia: Ipog, v. 01, jul. 2013. 5º ed. Disponível em: <<file:///C:/Users/Iara/Downloads/f53ac109e594c87a9351b8aede8f3c17.pdf>>. Acesso em: 10 mar. 2015.

GRANDISKI, Paulo. **Aprenda a Distinguir "Vícios" dos "Defeitos" nas Relações de Consumo.** 2013. Disponível em: <<http://blogs.pini.com.br/posts/normas-tecnicas-pericias/aprenda-a-distinguir-vicios-dos-defeitos-nas-relacoes-de-consumo-302126-1.aspx>>. Acesso em: 16 fev. 2015

GUIMARÃES, Carvalho e Silva. **Saneamento Básico.** Agosto 2007. Disponível em: <<http://www.ufrj.br/institutos/it/deng/leonardo/downloads/APOSTILA/Apostila%20IT%20179/Cap%204%20parte%203.pdf>> Acesso em: 24 de Nov. de 2014.

HELENE, Paulo R. L. **Corrosão em armaduras para concreto armado,** - 1º ed. - São Paulo, Pini: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1986.

INSTITUTO TRATA BRASIL, **Saneamento no Brasil.** [S.I.: s.n.], Disponível em: <<http://www.tratabrasil.org.br/saneamento-no-brasil>>. Acesso em 20 de Nov. de 2014.

INSTITUTO TRATA BRASIL **Manual do Saneamento Básico** - Entendendo o saneamento básico ambiental no Brasil e sua importância socioeconômica, [S.I.: s.n.], 2012. Disponível em: <<http://www.tratabrasil.org.br/datafiles/uploads/estudos/pesquisa16/manual-imprensa.pdf>>. Acesso em 20 de Nov. de 2014.

ISAIA, Gustavo de Aguiar. **A corrosão das armaduras nas estruturas de concreto armado em edificações da primeira metade do século XX:** Uma metodologia de avaliação para sua detecção. 2010. 161 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Patrimônio Cultural, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria - Rs. 2010. Disponível em: <[file:///C:/Users/Iara/Desktop/ISAIA, GUSTAVO DE AGUIAR.pdf](file:///C:/Users/Iara/Desktop/ISAIA,%20GUSTAVO%20DE%20AGUIAR.pdf)>. Acesso em: 16 set. 2014.

LANA, Elinor Fernando dalla. **Carbonatação da camada de cobrimento de protótipos de concreto com cinza volante e cal.** 2005. 120 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria - Rs., 2005. Disponível em: <[http://cascavel.ufsm.br/tede/tde\\_busca/arquivo.php?codArquivo=1207](http://cascavel.ufsm.br/tede/tde_busca/arquivo.php?codArquivo=1207)>. Acesso em: 16 set. 2014.

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

MARCELLI, Mauricio. **Sinistros na construção civil: causas e soluções para danos e prejuízos em obras.** São Paulo: Pini, 2007. 260 p.

MORAES, Ana Carolina Lamego. **Recorrência de patologias em processos de ataque via cloreto em concreto armado.** 2012. 210 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2012. Disponível em: <[http://www.bibliotecadigital.ufmg.br/dspace/bitstream/handle/1843/ISMS-95YJ77/disserta\\_\\_o\\_ana\\_carolina\\_lamego\\_moraes.pdf?sequence=1](http://www.bibliotecadigital.ufmg.br/dspace/bitstream/handle/1843/ISMS-95YJ77/disserta__o_ana_carolina_lamego_moraes.pdf?sequence=1)>. Acesso em: 16 set. 2014.



OLIVARI, Giorgio. **Patologia em edificações**. 2003. São Paulo. Disponível em: <<http://engenharia.anhembibr/tcc-03/civil-01.pdf>>. Acesso em: 16 fev. 2015.

POSSAN, Edna. **Modelagem da Carbonatação e previsão de vida útil de estruturas de concreto em ambiente urbano**. 2010. Disponível em: <<http://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/28923/000773564.pdf?sequence=1>>. Acesso em 17 de set. 2014.

REIS, Lília Silveira Nogueira. **Sobre a recuperação e reforço de estruturas de concreto armado**. 2001. 112 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia Civil, Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2001. Disponível em: <[http://www.bibliotecadigital.ufmg.br/dspace/bitstream/handle/1843/BUDB-8AKG76/sobre\\_a\\_recupera\\_o\\_e\\_refor\\_o\\_das\\_estruturas\\_do\\_concreto\\_armado.pdf?sequence=1](http://www.bibliotecadigital.ufmg.br/dspace/bitstream/handle/1843/BUDB-8AKG76/sobre_a_recupera_o_e_refor_o_das_estruturas_do_concreto_armado.pdf?sequence=1)>. Acesso em: 08 abr. 2015.

SANTOS, Marcus Vinícius Batista dos; SANTOS, Allan Nunes. **Iniciando Gerenciamento de Projetos para Empresas na Construção Civil**. 2004. Disponível em: <[http://www.techoje.com.br/site/techoje/categoria/detalhe\\_artigo/675](http://www.techoje.com.br/site/techoje/categoria/detalhe_artigo/675)>. Acesso em: 10 mar. 2015.

SOUZA, Vicente Custódio Moreira de; RIPPER, Thomaz, **Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto**, 1º ed. - São Paulo, Pini, 1998, 5º tiragem, abril 2009.

TORRES, Ariela da Silva. **Corrosão por cloretos em estruturas de concreto armado: Uma meta-análise**. 2011. 170 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011. Disponível em: <<http://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/29405/000777122.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 16 set. 2014.

TSUTIYA, Milton Tomoyuki, **Abastecimento de água**, - 3º ed. - São Paulo, Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2006.

VIDAL, Thiago Luna. **APLICAÇÃO PRÁTICA DE UMA VISTORIA CAUTELAR PARA PRODUÇÃO ANTECIPADA DE PROVA S**. 2013. 108 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2013. Disponível em: <[http://www.ufjf.br/engenhariacivil/files/2012/10/TCC\\_Thiago-Luna-Vidal.pdf](http://www.ufjf.br/engenhariacivil/files/2012/10/TCC_Thiago-Luna-Vidal.pdf)>. Acesso em: 16 fev. 2015.