



Centro Universitário de Brasília - UNICEUB  
Faculdade de Tecnologia e Ciências Sociais Aplicadas - FATECS  
Curso de Engenharia Civil

ALISSON ROBERTO COSTA LOPES

**ANÁLISE DE MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS NO TANQUE DE  
APLICAÇÃO DE PRODUTOS QUÍMICOS (TAPQ) DA ETA RIO  
DESCOBERTO - BRASÍLIA/DF**

Brasília-DF

2018

ALISSON ROBERTO COSTA LOPES

**ANÁLISE DE MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS NO TANQUE DE  
APLICAÇÃO DE PRODUTOS QUÍMICOS (TAPQ) DA ETA RIO  
DESCOBERTO - BRASÍLIA/DF**

Trabalho de conclusão de curso  
apresentado ao Centro Universitário de  
Brasília (UniCEUB), como requisito para  
obtenção do título de graduação em  
Engenharia Civil

Orientadora: Prof. (a) Msc. Gabriela de  
Athayde Duboc Bahia

Brasília

2018

ALISSON ROBERTO COSTA LOPES

**ANÁLISE DE MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS NO TANQUE DE  
APLICAÇÃO DE PRODUTOS QUÍMICOS (TAPQ) DA ETA RIO  
DESCOBERTO - BRASÍLIA/DF**

Monografia apresentada ao Centro  
Universitário de Brasília (UniCEUB), como  
requisito para obtenção do título de  
graduação em Engenharia Civil

Orientadora: Prof. (a) Msc. Gabriela de  
Athayde Duboc Bahia

Brasília, 02 de julho de 2018.

**Banca Examinadora**

---

Prof. (a) M. Sc. Gabriela de Athayde Duboc Bahia  
Orientadora

---

Prof. (a) M. Sc. Erika Regina Costa Castro  
Examinador interno

---

M. Sc. Vinícius Resende Domingues  
Examinador externo

Dedico esta monografia primeiramente a Deus, por me dar o dom da vida, me guiar e me proteger todos os dias.

Ao meu pai João, minha mãe Aurenir, minha namorada e aos meus familiares, pelo incentivo, carinho, apoio e confiança em mim.

A minha avó paterna Maria Ilza que foi uma grande mulher, apesar do pouco estudo que tinha, apresentava uma grande sabedoria e faleceu quando eu estava realizando essa monografia. A todos os professores do curso em especial a minha orientadora M.Sc Gabriela, que foram muito importantes nessa longa jornada e no desenvolvimento desta monografia.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus pelo dom da vida que me foi dada e que sempre estar iluminando meus passos, a minha família, em especial aos meus pais João Lopes de Araújo e Aurenir Felipe da Costa, e meu irmão Anderson Felipe Lopes que sempre me incentivaram e apoiaram no meu sonho de ser torna um engenheiro. Em especial, também aos meus avós maternos Valdivino e Carmelita, que apesar de estarem longe, sempre se preocuparam com a minha vida acadêmica, assim como meus tios, tias, primos, padrinhos e madrinhas que de alguma forma me ajudaram nessa jornada. Em memória aos meus avós paternos João e Ilza, que tenho certeza que estão no céu, felizes por essa conquista.

Um agradecimento especial a minha tia Santana Neta Lopes, que sempre foi para mim um exemplo de pessoa e de admiração e nos momentos mais difíceis, ela estava me apoiando financeiramente e me incentivando a continuar nessa longa caminhada.

A minha namorada Tais Bispo Trigueiro, que pelos três anos ao meu lado, que sempre me apoiou nos momentos mais difíceis da minha vida e me incentivou para que eu não desistisse do meu sonho. A todos da família Bispo que sempre confiaram em mim e me incentivaram.

Meus agradecimentos aos amigos (Paulo Ricardo, Gabriel Lucindo, Madson) que sempre me ajudaram nessa caminhada acadêmica e em especial ao José Ricardo que me aconselhou em alguns momentos e me incentivou no tema deste trabalho. A todos os professores de Engenharia Civil do UniCEUB Campus 2 de Taguatinga, em especial o Prof. D.Sc. Rideci Farias, Prof. M.Sc Felipe Gama e Prof. (a) M.Sc. Erika Regina, que me apoiaram, incentivando e ensinando da melhor forma possível.

Agradeço a Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal (CAESB), pela liberação, apoio e ajuda nas informações para o desenvolvimento deste trabalho acadêmico.

Por fim, uma gratidão incondicional a minha Orientadora Prof. (a) M.Sc. Gabriela de Athayde Duboc Bahia, pela sua dedicação, paciência, compreensão e por ter confiado em mim.

Obrigado a todos que de alguma forma me ajudou e me apoiou nessa longa caminhada.

*“A persistência é o caminho do êxito”*

*Charles Chaplin*

## RESUMO

É fundamental para uma estrutura de concreto armado que sejam realizadas manutenções preventivas e corretivas durante sua vida útil, tendo como finalidade a conservação contra agentes agressivos que podem afetar a estrutura, como por exemplo, o cloro. Nesse sentido, esse trabalho tem como objetivo avaliar o grau de deterioração da estrutura do Tanque de Aplicação de Produtos Químicos (TAPQ), com capacidade de aproximadamente 2.000 m<sup>3</sup> de água, construído há 22 anos na Estação de Tratamento de Águas (ETA) Rio Descoberto, localizado na cidade de Ceilândia – DF. Para realização desta análise, foi efetuada uma divisão no tanque, chamadas de área 1 e área 2, onde realizou-se uma análise visual de toda a estrutura. Posteriormente, foram feitos ensaios de carbonatação, onde aplicando o produto fenolftaleína diretamente ao concreto, constatou-se que o pH se encontrava abaixo de 9,5. Com aplicação da Metodologia GDE/UnB, foi possível verificar que o grau de deterioração do elemento nas áreas 1 e 2 apresentou os valores de 144,45 e 118,60 respectivamente e o grau de deterioração da estrutura ficou em 131,53. Assim foi possível concluir que a estrutura apresenta um grau de deterioração crítico, com a necessidade de intervenção imediata para restabelecer a funcionalidade e/ou segurança do local. Após toda análise feita, foram sugeridas algumas técnicas de recuperação da estrutura, para que possa retornar ao seu funcionamento correto.

**PALAVRAS-CHAVE:** Patologia Estrutural. Produtos Químicos. Concreto. Deterioração.

## **ABSTRACT**

It is fundamental for a reinforced concrete structure to obtain preventive and corrective maintenance during its useful life, aiming at the conservation against aggressive agents that can affect the structure, such as chlorine. In this sense, the objective this work is to evaluate the degree deterioration the structure the Chemical Application Tank (TAPQ), with a capacity approximately 2,000 m<sup>3</sup> water, built 22 years ago at the Water Treatment Plant (ETA) Rio Descoberto, located in the city Ceilândia - DF. To perform this analysis, a division was made in the tank, called area 1 and area 2, where a visual analysis of the entire structure was performed. Afterwards, carbonation tests were carried out, where the phenolphthalein product was applied directly to the concrete. From this test it was verified that the pH was below 9.5. With application the GDE/UnB Methodology, it was possible to verify that the degree deterioration the element in areas 1 and 2 presented the values 144.45 and 118.60 respectively and the degree deterioration the structure was 131.53. Thus, it was possible to conclude that the structure presents a degree of critical deterioration, with the need for immediate intervention to restore the functionality and / or safety of the site. After all the analysis made, some techniques of structure recovery were suggested in order to restore its correct operation.

**KEYWORDS:** Pathology. Chemicals. Concrete. Deterioration



## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Inter-relacionamento entre conceitos de durabilidade e desempenho .....	19
Figura 2 - Causas de intervenção em estruturas.....	22
Figura 3 - Possíveis intervenções em estruturas.....	23
Figura 4 - Manutenções preventivas desde a entrega da obra .....	28
Figura 5 - Fluxograma da metodologia para o cálculo do Grau de Deterioração da Estrutura ( $G_d$ ).....	32
Figura 6 - Formulação proposta para o cálculo do grau de um dano .....	38
Figura 7 - Vista panorâmica da Estação de Tratamento de Água Rio Descoberto ...	43
Figura 8 - Vista parcial 1 do TAPQ.....	44
Figura 9 - Vista parcial 2 do TAPQ.....	44
Figura 10 - Fluxograma da metodologia utilizada no Tanque de aplicação de produtos químicos .....	46
Figura 11 - Divisão das áreas.....	47
Figura 12 - Corrosão de Armadura.....	48
Figura 13 - Desagregação do concreto .....	49
Figura 14 - Corrosão na borda da adutora .....	50
Figura 15 - Desagregação do concreto .....	51
Figura 16 - Parafuso da Tubulação sem porca .....	51
Figura 17 - Manchas brancas, próximo ao duto de cloro. ....	52
Figura 18 - Desagregação do concreto no canto da parede .....	53
Figura 19 - Impermeabilização danificada.....	54
Figura 20 - Impermeabilização com bolhas.....	54
Figura 21 - Paredão de separação das áreas .....	55
Figura 22 - Buraco com perda total da ferragem na primeira camada. ....	55
Figura 23 - Buraco com perda de seção na ferragem da segunda camada.....	56
Figura 24 – Locais onde não existe mais a impermeabilização .....	57
Figura 25 – Impermeabilização danificada.....	57
Figura 26 - Dentro do cano de descarga.....	58
Figura 27 - Corrosão no tanque de descarga.....	58
Figura 28 - Teste de Carbonatação.....	59

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Gde da área 1 .....	59
Tabela 2 - Gde da área 2 .....	60
Tabela 3 - Grau de deterioração da estrutura .....	61

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Quadro com as categorias e classes de cimentos que são fabricadas no Brasil.....	17
Quadro 2 - Comparação dos critérios de desempenho.....	20
Quadro 3 - Valores indicativos do tempo de vida útil de projeto.....	25
Quadro 4 - Classes de agressividade ambiental (CAA) .....	25
Quadro 5 - Correspondência entre a classe de agressividade e a qualidade do concreto.....	26
Quadro 6 - Correspondência entre a classe de agressividade Ambiental e o cobrimento para $\Delta c = 10$ m.....	27
Quadro 7 - Substâncias severamente agressivas ao concreto .....	29
Quadro 8 - Família de elementos estruturais, danos e fator de ponderação (Fp) .....	34
Quadro 9 - Fator de intensidade.....	34
Quadro 10 - Classificação dos danos e fatores de intensidade (Fi) .....	35
Quadro 11 - Classificação dos níveis de deterioração do elemento.....	40
Quadro 12 - Classificação dos níveis de deterioração da estrutura .....	42
Quadro 13 - Principais características do TAPQ.....	45

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

<b>ETA</b>	Estação de Tratamento de Águas
<b>TAPQ</b>	Tanque de Aplicação de Produtos Químicos
<b>CAESB</b>	Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal
<b>ABNT</b>	Associação Brasileira De Normas Técnicas
<b>NBR</b>	Norma Brasileira
<b>D</b>	Grau de dano
<b>F<sub>i</sub></b>	Fator de intensidade do dano
<b>F<sub>p</sub></b>	Fator de ponderação do dano
<b>Fr</b>	Fator de relevância estrutural
<b>G<sub>d</sub></b>	Grau de deterioração da estrutura
<b>G<sub>de</sub></b>	Grau de deterioração do elemento
<b>G<sub>df</sub></b>	Grau de deterioração da família de elementos
<b>K</b>	Número de famílias de elementos que existem na edificação
<b>M</b>	Número de danos detectados no elemento
<b>N</b>	Número de elementos da família com $G_{de} > 15$ .

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>14</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVO</b>	<b>15</b>
2.1	Geral:	15
2.2	Específicos:	15
<b>3</b>	<b>JUSTIFICATIVA</b>	<b>16</b>
<b>4</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b>	<b>17</b>
4.1	Concreto:	17
4.2	Durabilidade	18
4.3	Desempenho	20
4.4	Causas de intervenções em estruturas	21
4.5	Vida útil do concreto	24
4.6	Agressividade do concreto	25
4.7	Manutenção	27
4.8	Manifestações Patológicas	28
4.8.1	Ataque químico	29
4.8.2	Carbonatação	31
4.9	Metodologia GDE/UNB	31
4.9.1	Classificação das famílias de elementos	33
4.9.2	Fator de ponderação do dano (Fp)	33
4.9.3	Fator intensidade do dano (F <sub>i</sub> )	34
4.9.4	Grau do dano	37
4.9.5	Grau de deterioração de um elemento	39
4.9.6	Grau de deterioração de uma família de elementos	40
4.9.7	Fator de relevância estrutural da família de elementos	41
4.9.8	Grau de deterioração da estrutura	42
<b>5</b>	<b>CARACTERIZAÇÃO DO LOCAL DE ESTUDO</b>	<b>43</b>
5.1	Histórico das patologias	45

<b>6</b>	<b>METODOLOGIA</b> .....	<b>46</b>
<b>7</b>	<b>APRESENTAÇÃO E ANÁLISES DOS RESULTADOS</b> .....	<b>48</b>
<b>7.1</b>	<b>Análise Visual</b> .....	<b>48</b>
7.1.1	Área 1.....	48
7.1.2	Área 2.....	56
<b>7.2</b>	<b>Ensaio de Carbonatação</b> .....	<b>59</b>
<b>7.3</b>	<b>Aplicação do método GDE/UnB</b> .....	<b>59</b>
7.3.1	Área 1.....	59
7.3.2	Área 2.....	60
7.3.3	Grau de deterioração da estrutura.....	61
<b>8</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	<b>62</b>
<b>8.1</b>	<b>SUGESTÃO DE TRABALHOS FUTUROS</b> .....	<b>63</b>
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>64</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O avanço da tecnologia contribuiu para um crescimento acelerado na construção civil, colaborando para a entrega de empreendimentos em curto prazo. Entretanto, essa celeridade aliada à falta de procedimento e controle pode colaborar para o aparecimento de manifestações patológicas de forma a afetar a durabilidade e estabilidade das estruturas.

A durabilidade e a vida útil são de suma importância em uma estrutura de concreto armado. Para que a vida útil prevista em projeto seja assegurada, é necessário garantir manutenções rotineiras para corrigir todos os danos em sua fase inicial e evitando reparos maiores e custos elevados.

Segundo Souza & Ripper (1998) a patologia é a ciência que estuda as causas e as origens das anomalias. As manifestações patológicas podem ocorrer através de vários fatores, tais como: erros, falhas e problemas de projeto, falta de manutenção, etc.

Esse trabalho demonstra uma forma de avaliar as condições em que a estrutura de concreto armado apresenta (tais como: corrosão com perda de seção nas ferragens, deterioração do concreto, fissuração, etc.) no Tanque de Aplicação de Produtos Químicos da Estação de Tratamento de Água Rio Descoberto, localizado no Distrito Federal.

A metodologia do grau de deterioração do elemento (GDE), aplicada nesse trabalho, foi elaborada no Programa de Pós-Graduação em Estruturas e Construção Civil da Universidade de Brasília (PECC-UnB) e permite identificar e avaliar as manifestações patológicas encontradas por meio de uma inspeção visual na estrutura de concreto e classificar com a utilização de fórmulas os níveis de deterioração de um só elemento ou de toda a estrutura.

## **2 OBJETIVO**

### **2.1 Geral:**

Realizar uma inspeção e identificar as principais manifestações patológicas existentes no Tanque de Aplicação de Produtos Químicos (TAPQ) da Estação de Tratamento de Água (ETA) Rio Descoberto, em Ceilândia – DF, utilizando a metodologia GDE/UNB.

### **2.2 Específicos:**

- Realizar a inspeção visual no TAPQ da ETA Rio Descoberto;
- Identificar as principais anomalias encontradas e apontar suas possíveis causas;
- Identificar o nível de deterioração da estrutura com base no resultado final do GDE;
- Sugerir recomendações para a correção das manifestações patológicas identificadas.



### 3 JUSTIFICATIVA

A ausência de manutenção nas estruturas pode corroborar com o aparecimento de manifestações patológicas, gerando custos e reparos superiores com a recuperação da estrutura. Esses problemas poderiam ser evitados com a realização de manutenções corretivas e preventivas durante a sua vida útil.

O Tanque de Aplicação de Produtos Químicos (TAPQ), situado na estação de tratamento de água (ETA) Rio de Descoberto, que foi construído há cerca de 22 anos, exerce um papel fundamental no tratamento de águas. Devido à importância do tanque para a ETA e a falta de manutenção durante esses anos, surgiu a demanda em avaliar as condições em que a estrutura se apresenta, a fim de colaborar com a Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal (CAESB), no sentido de fornecer informações atuais do estado de deterioração da estrutura.

O cloro é bastante agressivo para a ferragem, porém, em grande quantidade como acontece em um tanque de produtos químicos, pode prejudicar até o concreto, gerando desagregação e deixando a ferragem propícia a um processo de corrosão.

A análise das manifestações patológicas, que possam ser encontradas no tanque, é um fator fundamental para a implantação de medidas preventivas e corretivas, de forma a proporcionar um aumento da sua vida útil e da sua durabilidade.

A metodologia GDE/UnB utilizada nessa pesquisa, busca definir e obter um valor numérico, no qual permite descrever a situação do estado de deterioração da estrutura do TAPQ.

## 4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 4.1 Concreto

O concreto se tornou um dos materiais mais utilizados no mundo atualmente pela construção civil. Segundo Mehta & Monteiro (2014, p. 3) “estima-se que o consumo atual de concreto no mundo seja da ordem de 19 bilhões de toneladas de concreto ao ano”.

Uma das razões do concreto ser um material bastante utilizado é a capacidade de obter diversos modelos e tamanhos em uma estrutura. Quando o concreto está fresco tem a consistência plástica, que favorece seu fluxo, facilitando o preenchimento de diferentes moldes de fôrmas pré-fabricadas (MEHTA & MONTEIRO, 2014).

O cimento pode ser relatado como um material que tem propriedades adesivas e coesivas e sendo possível a união de fragmentos minerais em forma de uma unidade compactada. (NEVILLE, 2016).

No Brasil é fabricado o cimento Portland onde são divididos em várias categorias e classes, como mostra o Quadro 1.

**Quadro 1 - Quadro com as categorias e classes de cimentos que são fabricadas no Brasil**

<b>Designações</b>	<b>Classes</b>	<b>Norma ABNT</b>
Cimento Portland comum	CP I-25 CP I-32 CP I-40	NBR - 5732
Cimento Portland comum (Com adições)	CP I-S-25 CP I-S-32 CP I-S-40	NBR – 5732
Cimento Portland composto (Com escória)	CP II-E-25 CP II-E-32 CP II-E-40	NBR - 11578
Cimento Portland composto (Com pozolana)	CP II-Z-25 CP II-Z-32 CP II-Z-40	NBR - 11578
Cimento Portland composto (Com filer)	CP II-F-25 CP II-F-32 CP II-F-40	NBR - 11578
Cimento Portland de alto-forno	CP III-25 CP III-32 CP III-40	NBR - 5735

Cimento Portland de alto-forno	CP III-25 CP III-32 CP III-40	NBR - 5735
Cimento Portland pozolânico	CP IV-25 CP IV-32	NBR – 5736
Cimento Portland de alta resistência inicial	CP V-ARI	NBR – 5733

Fonte: (Souza & Ripper, 1998)

Existe uma grande dúvida em qual cimento utilizar. Segundo Neville (2016), nenhum cimento é o melhor em todas as circunstâncias. Para tanto é necessário verificar as características de cada cimento a fim de aplica-lo corretamente na obra. Em muitos casos a escolha do tipo de cimento em uma obra dependerá de vários fatores, tais como: a mão de obra, velocidade da construção e exigências estruturais e mesmo assim ainda poderão ser utilizados outros tipos de cimento.

#### 4.2 Durabilidade

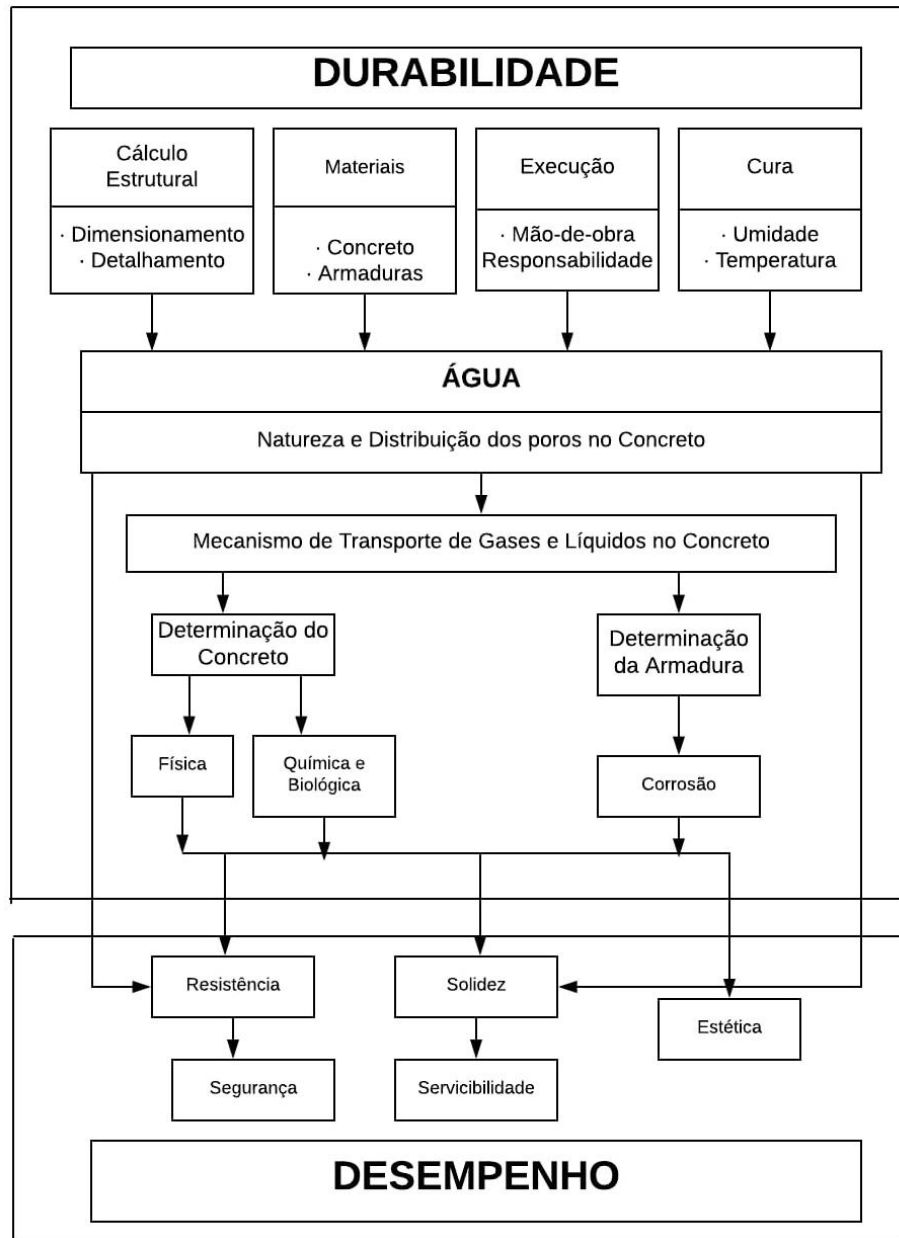
A durabilidade é a capacidade de um produto ou de uma estrutura de manter desempenhos aceitáveis pré-estabelecidos em projeto. Conforme a NBR 6118 (2014, p. 13) “a durabilidade consiste na capacidade de a estrutura resistir às influências ambientais previstas e definidas em conjunto pelo autor do projeto estrutural e pelo contratante, no início dos trabalhos de elaboração do projeto”.

Segundo Mehta & Monteiro (2014), os efeitos físicos são desfavoráveis para a durabilidade de uma estrutura de concreto, podendo prejudicar a sua vida útil. O estado físico provoca deteriorações da superfície e fissuração devido à cristalização dos poros. Com esse desgaste, abrem espaços para aparecerem os efeitos químicos, como a lixiviação da pasta de cimento, ataque por sulfato, reação álcali-agregado e corrosão das armaduras.

Mehta & Monteiro (2014) alerta que a durabilidade de uma estrutura pode se tornar menor em ambiente marinho, pois, esses lugares há um efeito físico e químico simultâneo sujeito a exposição da água do mar.

Na Figura 1, pode-se observar um esquema feito pelo Comitê Euro-Internacional du Béton (C.E.B) - Boletim nº 183, 1989 apud Souza e Ripper, 1998, onde mostra as reações que podem diminuir a durabilidade do concreto e prejudicar o seu desempenho.

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



Fonte: C.E.B - Boletim nº 183, 1989 apud Souza e Ripper, 1998

É importante compreender que em uma construção durável, ocasionam em decisões e procedimentos que certifiquem que os materiais daquela estrutura compõem um desempenho aceitável ao longo de sua vida útil (Souza & Ripper, 1998)

Para que a estrutura tenha uma longa durabilidade, é necessário realizar sempre as manutenções preventivas e corretivas. Segundo Neville (2016), a durabilidade não quer dizer que a estrutura terá uma vida ilimitada, nem muito menos que a resistência do concreto resistirá a qualquer ação.

### 4.3 Desempenho

Conforme a NBR 6118 (2014) o desempenho tem como objetivo permanecer em circunstâncias ideais durante sua vida útil, não podendo demonstrar manifestações que comprometam em parte ou totalidade a utilização para o qual foi planejada.

Possam & Demoliner (2013) definem desempenho como condições mínimas em que uma estrutura possa proporcionar para que qualquer pessoa consiga utilizar a estrutura com segurança durante sua vida útil.

Possam & Demoliner (2013) afirmam que o desempenho de uma edificação apresenta critérios, os quais estão apresentados na NBR 15575-1 (2013), onde é estabelecido o método quantitativo dos requisitos de desempenho. A referida norma estabelece 12 critérios de desempenho que tem como fundamento a norma ISO 6241 (1984) tendo como adequação para a realidade brasileira.

Possam & Demoliner (2013) comparam no Quadro 2, os 12 critérios que foram adaptados da norma ISO 6241 (1984) para a norma NBR 15575-1 (2013).

**Quadro 2 - Comparação dos critérios de desempenho**

Itens	ISSO 6241 (1984)	NBR 15575-1 (2013)
1	Estabilidade estrutural e resistência a cargas estáticas, dinâmicas e cíclicas.	Desempenho estrutural
2	Resistência ao fogo	Segurança contra incêndio
3	Resistência à utilização	Segurança no uso e na operação
4	Estanqueidade	Estanqueidade
5	Conforto hidrotérmico	Desempenho térmico
6	Conforto acústico	Desempenho acústico
7	Conforto visual	Desempenho lumínico

<b>8</b>	Durabilidade	Durabilidade e manutenibilidade
<b>9</b>	Higiene	Saúde, higiene e qualidade do ar
<b>10</b>	Conforto tátil	Funcionalidade e acessibilidade
<b>11</b>	Conforto antropométrico	Conforto tátil e antropodinâmico
<b>12</b>	Qualidade do ar	Adequação ambiental

**Fonte:** (Possam & Demoliner, 2013)

A NBR 15575-1 (2013) afirma que, para que uma edificação tenha um desempenho satisfatório, deve se busca junto ao usuário uma adaptação dos critérios da norma, para que a estrutura tenha os requisitos como, segurança, resistência, conforto, etc., sem deixar de lado a estabilidade estrutural, resistência ao fogo, conforto térmico e acústico, durabilidade entre outros, previsto na norma.

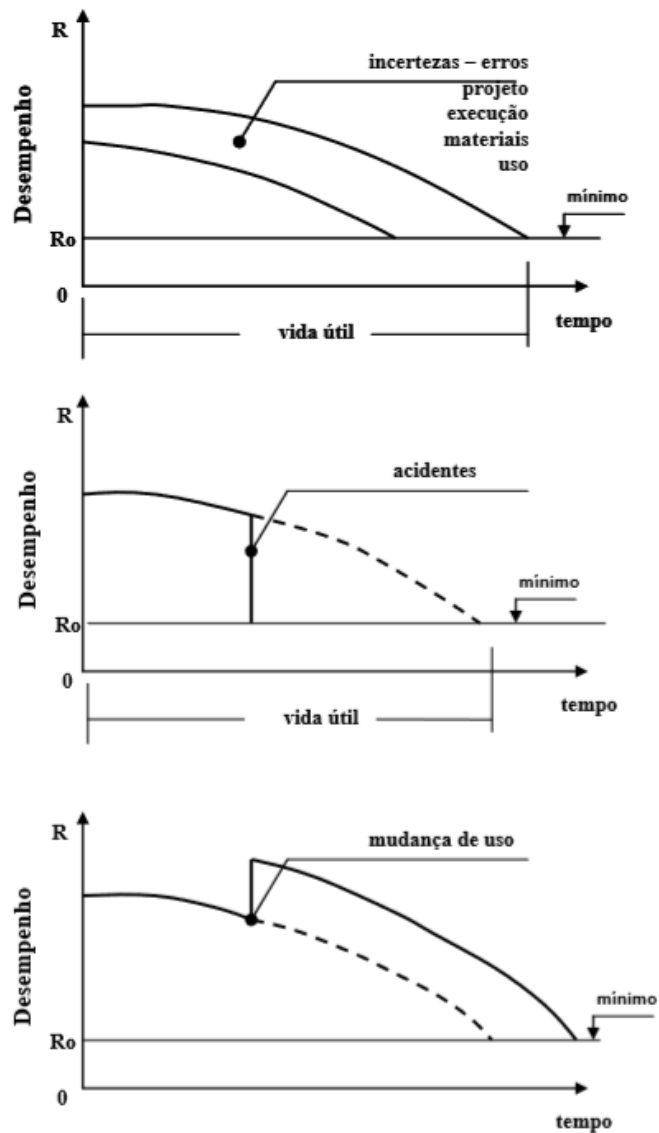
#### **4.4 Causas de intervenções em estruturas**

Para Castro (1994), o envelhecimento da estrutura é inevitável, porém, esse envelhecimento precisa ocorrer em um tempo previsto em projeto de forma que a estrutura permaneça até o final da sua vida útil com desempenho satisfatório.

Castro (1994) afirma que durante a construção de uma estrutura de concreto armado podem acontecer erros de projetos ou até mesmo de materiais de baixa qualidade, onde necessitaria de uma intervenção para a correção dessas falhas.

A Figura 2 mostra três tipos de causas que podem ocorrer em uma estrutura de concreto armado. Estas causas estão representadas em um diagrama, relacionando o Desempenho x Tempo.

Figura 2 - Causas de intervenção em estruturas



Fonte: (CASTRO, 1994)

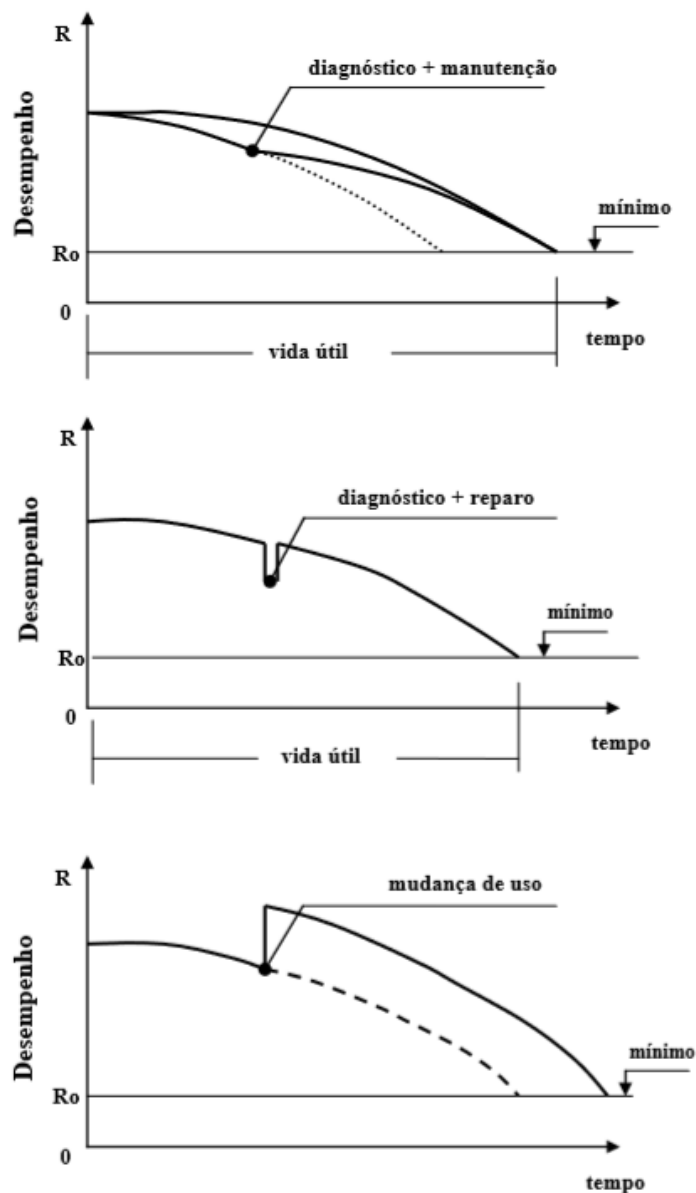
No primeiro gráfico, a estrutura pode ter apresentado erros de projeto ou de materiais de baixa qualidade, acarretando em um desempenho abaixo do que foi projetado. Isso pode ser observado pela diminuição do desempenho e da vida útil da estrutura, atingindo o desempenho mínimo antes do tempo esperado.

No segundo gráfico, a estrutura apresentaria um desempenho conforme foi projetado, entretanto, durante a sua vida útil sofreu um acidente que diminuiu expressivamente o seu desempenho e conseqüentemente a sua vida útil.

No terceiro gráfico, a estrutura apresentaria um desempenho conforme foi projetado, entretanto, durante sua vida útil, a estrutura muda seu uso gerando uma diminuição do seu carregamento aumentando assim o seu desempenho e a sua vida útil.

A Figura 3 apresenta as intervenções feitas em relação à Figura 2 para que a estrutura possa retornar a sua vida útil.

Figura 3 - Possíveis intervenções em estruturas



Fonte: (CASTRO, 1994)



No primeiro gráfico, foi diagnosticado que a estrutura apresentava um desempenho abaixo do projetado, assim foi realizada a manutenção corretiva para que a estrutura obtivesse o desempenho esperado.

No segundo gráfico, foi diagnosticado os danos gerados pelo acidente e realizado o reparo para que a estrutura retornasse ao seu desempenho esperado

No terceiro gráfico, como a estrutura teve um alívio na mudança de uso, não há necessidade de realizar um reparo, pois o seu desempenho e sua vida útil aumentaram.

#### **4.5 Vida útil do concreto**

Araújo (2014) define como vida útil, o tempo em que uma estrutura é capaz de realizar todas as funcionalidades previstas no projeto. Em geral, o tempo de vida útil de uma estrutura, termina quando se inicia o processo de corrosão nas armaduras.

Conforme a NBR 6118 (2014, p. 15):

Por vida útil de projeto, entende-se o período de tempo durante o qual se mantêm as características das estruturas de concreto, sem intervenções significativas, desde que atendidos os requisitos de uso e manutenção prescritos pelo projetista e pelo construtor, bem como de execução dos reparos necessários decorrentes de danos acidentais.

Para Araújo (2014), a vida útil pode ser dividida em dois períodos de tempo. O primeiro é a vida útil de serviço ou de utilização, onde se inicia o desenvolvimento de corrosões nas armaduras, gerando fissuras ou até mesmo manchas na superfície do concreto, chegando até o estado de desagregação do cobrimento.

Para estruturas usuais de edificação, as normas de projetos geralmente consideram uma vida útil de no mínimo 50 (cinquenta) anos, contudo, obras com uma importância de maior relevância podem se estabelecer um método correspondente a sua vida útil, como por exemplo, 100 (cem) anos (Araujo, 2014).

O Quadro 3 mostra algumas categorias de vida útil das estruturas e o tempo de cada uma delas.

Quadro 3 - Valores indicativos do tempo de vida útil de projeto

<b>Categoria</b>	<b>Vida útil (anos)</b>	<b>Exemplos</b>
1	10	Estruturas provisórias <sup>1)</sup>
2	10 a 25	Componentes estruturais que possam ser substituídos
3	15 a 30	Estruturas agrícolas e semelhantes
4	50	Estruturas de edifícios e outras estruturas correntes
5	100	Estruturas de edifícios monumentais, pontes e outras estruturas similares
1) As estruturas ou componentes estruturais que possam ser desmontados, tendo em vista a sua reutilização, não deverão ser considerados como provisórios		

**Fonte:** EN 1990 (Comité Europeu de Normalização) apud Araújo (2014) modificada pelo autor

#### 4.6 Agressividade do concreto

A agressividade do concreto é um dos principais componentes responsáveis pela qualidade e durabilidade do concreto. Conforme a NBR6118 (2014) a agressividade do concreto está relacionada principalmente ao seu estado físico e químico.

Para que o concreto possa ter uma vida útil longa, Carvalho & Filho (2016) afirmam que é de suma importância levar em consideração à agressividade ambiental estabelecida no Quadro 4 da NBR 6118 (2014).

Quadro 4 - Classes de agressividade ambiental (CAA)

<b>Classe de agressividade ambiental</b>	<b>Agressividade</b>	<b>Classificação geral do tipo de ambiente para efeito de projeto</b>	<b>Risco de deterioração da estrutura</b>
I	Fraca	Rural	Insignificante
		Submersa	
II	Moderada	Urbana <sup>a, b</sup>	Pequeno
III	Forte	Marinha <sup>a</sup>	Grande
		Industrial <sup>a, b</sup>	
		Industrial <sup>a, c</sup>	

Classe de agressividade ambiental	Agressividade	Classificação geral do tipo de ambiente para efeito de projeto	Risco de deterioração da estrutura
IV	Muito Forte	Respingo 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 conjunto 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, armazém de fertilizantes, indústrias químicas.		

Fonte: NBR 6118 (2014)

A avaliação da agressividade do concreto, previsto na Tabela 4, depende não só da região onde a obra será erguida, mas também dos agentes agressivos que estão presentes na estrutura.

O Quadro 5 estabelecida pela NBR 6118 (2014), determina a relação água/cimento e a classe do concreto dependendo da agressividade ambiental.

**Quadro 5 - Correspondência entre a classe de agressividade e a qualidade do concreto**

Concreto <sup>a</sup>	Tipo <sup>b, c</sup>	Classe de agressividade (Tabela 6.1)			
		I	II	III	IV
Relação água/cimento em massa	CA	≤ 0,65	≤ 0,60	≤ 0,55	≤ 0,45
	CP	≤ 0,60	≤ 0,55	≤ 0,50	≤ 0,45
Classe de concreto (ABNT NBR 8953)	CA	≥ C20	≥ C25	≥ C30	≥ C40
	CP	≥ C25	≥ C30	≥ C35	≥ C40
a:	O concreto empregado na execução das estruturas deve cumprir com os requisitos estabelecidos na ABNT NBR 12655.				
b:	CA corresponde a componentes e elementos estruturais de concreto armado.				
c:	CP corresponde a componentes e elementos estruturais de concreto protendido.				

Fonte: NBR 6118 (2014)

Há a necessidade que o cobrimento seja baseado na classe de agressividade ambiental conforme estabelece a NBR 6118 (2014) expressa no Quadro 6.

**Quadro 6 - Correspondência entre a classe de agressividade Ambiental e o cobrimento para  $\Delta c = 10$  m**

Tipos de estrutura	Componente ou elemento	Classe de agressividade ambiental			
		I	II	III	IV <sup>c</sup>
		Cobrimento nominal mm			
Concreto armado	Laje <sup>b</sup>	20	25	35	45
	Viga/pilar	25	30	40	50
	Elementos estruturais em contato com o solo <sup>d</sup>	30		40	50
Concreto protendido <sup>a</sup>	Laje	25	30	40	50
	Viga/pilar	30	35	45	55
a:	Cobrimento nominal da bainha ou dos fios, cabos e cordoalhas. O cobrimento da armadura passiva deve respeitar os cobrimentos para concreto armado				
b:	Para a face superior de lajes e vigas que serão revestidas com argamassa de contrapiso, com revestimentos finais secos desempenho, pisos cerâmicos, pisos asfálticos e outros.				
c:	Nas superfícies expostas a ambientes agressivos, como reservatórios, estações de tratamento de água e esgoto, condutos de esgoto, canaletas de efluentes e outras obras em ambientes química e intensamente agressivos, devem ser atendidos os cobrimentos da classe de agressividade IV				
d:	No trecho dos pilares em contato com o solo, junto aos elementos de fundação, a armaduras deve ter cobrimento nominal $\geq 45$ mm				

Fonte: NBR 6118 (2014)

Carvalho & Filho (2016) indicam alguns passos importantes a serem seguidos em projeto de concreto armado para garantir a sua durabilidade.

- Verificar e estudar a região, onde o projeto será executado e definir a classe de agressividade ambiental (CAA), conforme o Quadro 4.
- A partir da definição da CAA, estabelecer a relação água/cimento e a classe do concreto fornecido no Quadro 5.
- Determinar o cobrimento mínimo da armadura conforme o valor obtido da CAA, a partir do Quadro 6.

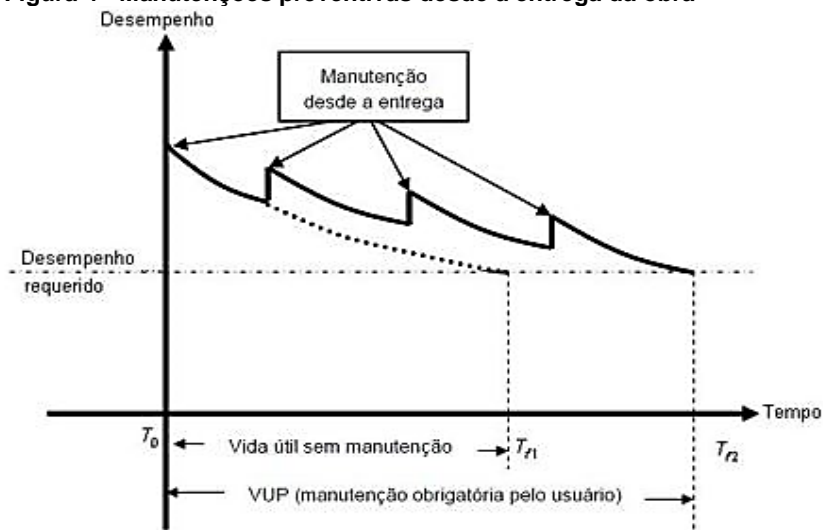
#### 4.7 Manutenção

A manutenção é o conjunto de ações e medidas que visam manter e prevenir uma estrutura, de forma que apresente as devidas condições previstas, tais como: utilização, segurança e conforto. Segundo Souza & Ripper (1998, p. 21) “entende-se por manutenção de uma estrutura o conjunto de atividades necessárias a garantir o seu desempenho satisfatório ao longo do tempo”.

Conforme a norma NBR 5674 (1999, p. 2) a manutenção é definida como “conjunto de atividades a serem realizadas para conservar ou recuperar a capacidade funcional da edificação e de suas partes constituintes de atender as necessidades e segurança dos seus usuários”.

A Figura 4 apresenta o nível de desempenho em uma estrutura de concreto armado e as manutenções preventivas previstas durante a sua vida útil.

**Figura 4 - Manutenções preventivas desde a entrega da obra**



Fonte: NBR 15575-1 (2013)

Na Figura 4, o desempenho de uma estrutura de concreto armado começa conforme projetado, entretanto, há a necessidade que durante a sua vida útil, sejam realizadas manutenções preventivas para que a estrutura possa aumentar o seu desempenho e conseqüentemente a sua vida útil.

#### 4.8 Manifestações Patológicas

A palavra patologia vem da medicina que estuda os tipos de doenças na engenharia, segundo Helene (2005, p. 20) “[...] Patologia pode ser entendida como parte da engenharia que estuda os sintomas, os mecanismos, as causas e as origens dos defeitos das construções civis, ou seja, é o estudo das partes que compõem o diagnóstico do problema”.

Souza & Ripper (1998) explicam que devido ao desenvolvimento da construção civil em alguns países, houve a necessidade de avanços tecnológicos

para que os empreendimentos fossem entregues rapidamente, trazendo um maior risco para as estruturas. Com esse avanço, o tempo de criação de um projeto que demoravam anos para ficarem prontos, começou a ser reduzidos para no máximo três meses, esse curto tempo, apresentou grandes falhas. Materiais de construção que tiveram que ser fabricados em grande escala e um curto tempo para suprir a necessidade da demanda, começou a apresentar problemas, etc.

Para Souza & Ripper (1998) a patologia das estruturas inicia seu rumo pela análise da situação e pelos sintomas patológicos apresentados. Para que a análise seja aprimorada cada vez mais é de suma importância à homogeneização dos conceitos e métodos.

#### 4.8.1 Ataque químico

Neville (2016) define de forma geral, que o ataque químico ao concreto acontece através da decomposição de produtos químicos ou da criação de novos compostos químicos, que caso esses produtos se tornem solúveis, podem acarretar em uma lixiviação, entretanto, se os produtos não forem solúveis, podem causar desagregação no concreto.

Para Neville (2016) o cimento Portland é altamente alcalino, tornando assim a resistência muito fraca para ácidos fortes ou substâncias que se possam converter em ácidos. Em decorrência disso, se há possibilidade de acontecer um ataque, o concreto só poderá ser utilizado na estrutura se for protegido, caso contrário acarretará em possíveis manifestações patológicas. O Quadro 7 apresenta ácidos inorgânicos e orgânicos que são prejudiciais ao concreto, como também, outras substâncias como, por exemplo, o sulfato, que é extremamente agressivo.

**Quadro 7 - Substâncias severamente agressivas ao concreto**

<b>Ácidos</b>	
<b>Inorgânicos</b>	<b>Orgânicos</b>
Carbônicos	Acético
Clorídrico	Cítrico

<b>Ácidos</b>	
<b>Inorgânicos</b>	<b>Orgânicos</b>
Fluorídrico	Fórmico
Nítrico	Húmico
Fosfórico	Lático
Sulfúrico	Tânico
<b>Outras substâncias</b>	
Cloreto de alumínio	Gorduras vegetais e animais
Sais de amônia	Óleos vegetais
Sulfeto de hidrogênio	Sulfatos

Fonte: Neville (2016)

Segundo Neville (2016) a chuva ácida é composta pelos ácidos sulfúrico e nítrico com o pH entre 4,0 e 4,5, porém, ela não corrobora com uma grande deterioração ao concreto, mas pode acarretar em uma deterioração superficial.

#### **4.8.1.1 Ataque por sulfato**

Entre os agentes químicos mais agressivos do concreto, encontre-se o sulfato que geralmente está presente nas águas subterrâneas, águas com resíduos industriais e na água do mar. Os sulfatos mais agressivos são o cálcio ( $\text{CaSO}_4$ ), o magnésio ( $\text{MgSO}_4$ ), o amoníaco ( $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_2$ ) e o sódio ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ) (Souza & Ripper, 1998).

A NBR 6118 (2014) afirma que o ataque por sulfato é gerado através do aumento das águas ou dos solos que se encontram contaminados em um determinado local, dando origem a reações químicas que prejudicam a pasta de cimento hidratado.

Segundo Neville (2016) o sulfato nas águas dos lençóis freáticos, geralmente é de origem natural, entretanto, o lençol freático pode ser contaminado através de fertilizantes ou com a influência de indústrias próximas.

## **4.8.2 Carbonatação**

Para Neville (2016) a carbonatação é uma reação do gás carbônico ( $\text{CO}_2$ ) presente na atmosférica que acompanhado pela umidade reagem com a pasta de cimento hidratado reduzindo o pH do concreto.

Conforme Souza & Ripper (1998) seria favorável para o concreto, se a carbonatação ficasse na superfície, pois aumentaria a sua resistência química e mecânica. Com a concentração do  $\text{CO}_2$  na atmosfera e o nível da fissuração do concreto, a carbonatação atinge a armadura quebrando a proteção do aço gerando a corrosão.

### **4.8.2.1 Efeitos da Carbonatação**

Segundo Neville (2016) a carbonatação não causa deterioração do concreto, porém, apresenta outros problemas, como a redução do pH do concreto de 12,6 a 13,5 para 9 e a retração no concreto através da carbonatação.

Neville (2016) afirma que havendo fissuração no concreto, abre a possibilidade da água e  $\text{CO}_2$  entrarem até onde se encontra o aço embutido, gerando a corrosão.

Segundo Neville (2016, p. 519) “a maior taxa de carbonatação ocorre em uma umidade relativa, entre 50 a 70%”.

## **4.9 Metodologia GDE/UNB**

A Metodologia para manutenção de estruturas de concreto armado GDE/UnB, foi desenvolvida a partir de uma dissertação de mestrado de Castro (1994) que foi evoluída através dos autores Boldo (2002), Euqueres (2011), Verly (2015), Lopes (1998) e Fonseca (2007).

Castro (1994) teve como base a metodologia desenvolvida por Klein et al (1991), com o propósito de efetuar um processo de vistoria em pontes e viadutos para a realização de manutenções periódicas.

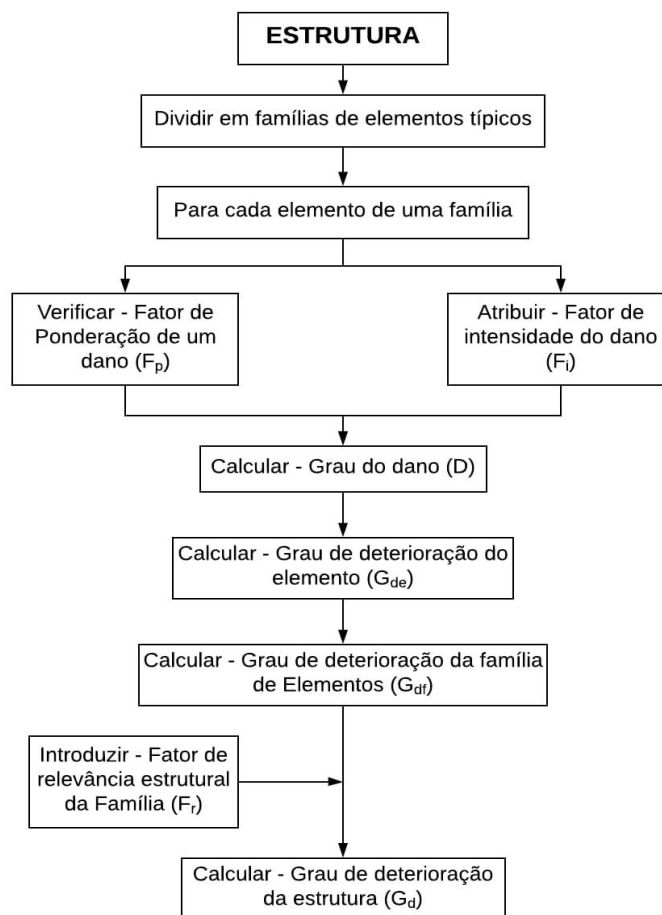
A metodologia de Castro (1994) tem como finalidade dividir as obras em famílias de elementos. Após uma inspeção visual realizada na estrutura anota-se em um caderno de inspeção as características gerais e as manifestações patológicas



típicas dos elementos de cada família, atribuindo um grau para cada lesão observada.

Conforme a Figura 5, após o levantamento realizado por um profissional, a estrutura é dividida para cada elemento de uma família, logo após, verificar-se o fator de ponderação ( $F_p$ ) já pré-definido em tabelas para cada elemento da família e assim atribui-se um fator de intensidade ( $F_i$ ). Com os fatores definidos, calcula-se o Grau do dano (D), Grau de deterioração do elemento ( $G_{de}$ ) e o Grau de deterioração da família de elementos ( $G_{df}$ ) com as formulações matemáticas pré-estabelecidas respectivamente para cada Grau. Com a realização de todos os cálculos, inseriu-se o Fator de relevância estrutural da família ( $F_r$ ) e finalmente calcula-se o Grau de deterioração da estrutura ( $G_d$ ) (CASTRO, 1994).

Figura 5 - Fluxograma da metodologia para o cálculo do Grau de Deterioração da Estrutura ( $G_d$ )



Fonte: Castro (1994)

#### **4.9.1 Classificação das famílias de elementos**

Segundo Castro (1994) as famílias de elementos são subdivididas conforme as características de seus elementos. Nas edificações com estruturas de concreto armado, podem ser definidas as seguintes famílias:

- Pilares;
- Vigas;
- Lajes;
- Cortinas;
- Escadas e rampas;
- Reservatório superior e inferior;
- Blocos;
- Juntas de dilatação
- Elementos de composição arquitetônica.

Castro (1994) ressalva que, dependendo das características da estrutura e os elementos arquitetônicos que forem ser avaliados, as famílias de elementos estruturais podem ser modificadas para se adequar de acordo com as necessidades de avaliação estrutural.

#### **4.9.2 Fator de ponderação do dano (Fp)**

Para Castro (1994), o fator de ponderação (Fp) aponta a importância de um dano no que se diz respeito às condições gerais de estética, funcionalidade e a segurança dos elementos de uma determinada família. Para o seu conceito, são elencados os problemas mais pertinentes de serem constatados, quanto aos critérios de durabilidade e segurança estrutural.

Castro (1994) ressalta que as manifestações patológicas, podem ter fatores de ponderação distintos, obedecendo as características da família onde o elemento possa incluir e dependendo dos impactos que o dano possa causar.

O fator de ponderação definido por Castro (1994), teve como base, o “fator de gravidade do dano” da metodologia de Klein et al (1991), adotando-se a mesma escala de ponderação, que varia de 1 a 10. Contudo, os graus atribuídos pelas

diferentes manifestações de danos de cada família, foram modificados, procurando buscar uma melhor realidade das estruturas de concreto armado.

O Quadro 8 mostra uma família de elementos estruturais de uma estrutura de concreto armado, e os danos prováveis e respectivos fatores de ponderação atribuídos por Castro (1994).

**Quadro 8 - Família de elementos estruturais, danos e fator de ponderação (Fp)**

<b>Reservatório superior e inferior</b>	
<b>DANOS</b>	<b>Fp</b>
Impermeabilização danificada	8
Vazamento	10
Segregação	5
Lixiviação	7
Esfoliação	10
Desagregação	7
Cobrimento Deficiente	7
Manchas de corrosão	9
Fissura	10
Carbonatação	7
Presença de cloretos	10

**Fonte:** Castro (1994)

#### **4.9.3 Fator intensidade do dano (F<sub>i</sub>)**

Proposto por Klein et al (1991), Castro (1994) utilizou o mesmo fator de intensidade do dano, para classificar o grau de gravidade e o desenvolvimento de uma manifestação de dano em um determinado elemento. O fator de intensidade do dano segue uma escala de 0 a 4, onde 0 seria uma estrutura sem lesão e 4 seria um estado crítico de um determinado elemento, conforme mostra o Quadro 9.

**Quadro 9 - Fator de intensidade**

<b>Grau de lesão</b>	<b>Fator de intensidade</b>
Sem lesões	0
Lesões leves	1

Lesões toleráveis	2
Lesões graves	3
Estado crítico	4

Fonte: Castro (1994)

Para Castro (1994) é fundamental que o ambiente onde se encontra a estrutura seja considerado, haja vista a exposição e proteção do elemento estrutural. A título de exemplo, elemento estrutural que esteja carbonatado em ambiente livre de umidade, não corre o mesmo risco de corrosão do que uma estrutura com um teor de umidade no local.

No Quadro 10, sugerida por Rilem (1991), podemos observar que quando um dano for de intensidade 1, significa que a situação do elemento está superficial, entretanto se o elemento estiver com um dano de número 4, mostra que a situação do elemento está crítica.

**Quadro 10 - Classificação dos danos e fatores de intensidade (Fi)**

<b>Tipos de dano</b>	<b>Fator de intensidade do dano – Tipos de manifestação</b>
Segregação	1 – Superficial e pouco significativa em relação às dimensões da peça; 2 – Significante em relação às dimensões da peça; 3 – Profunda em relação às dimensões da peça, com ampla exposição da armadura; 4 – Perda relevante da seção da peça.
Eflorescência	1 – Início de manifestação; 2 – Manchas de pequenas dimensões; 3 – Manchas acentuadas, em grandes extensões.
Esfoliação	2 – Pequenas escamações do concreto; 3 – Lascamento, de grandes proporções, com exposição da armadura; 4 – Lascamento acentuado com perda relevante de seção.
Desagregação	2 – Início de manifestação; 3 – Manifestações leves; 4 – Por perda acentuada de seção e esfrelamento do concreto.
Cobrimento	1 – Menores que os previstos em norma sem, no entanto, permitir a localização da armadura; 2 – Menor do que o previsto em norma, permitindo a localização da armadura ou armadura exposta em pequenas extensões; 3 – Deficiente com armaduras expostas em extensões significativas.

<b>Tipos de dano</b>	<b>Fator de intensidade do dano – Tipos de manifestação</b>
Manchas de corrosão / corrosão da armadura	2 – Manifestações leves; 3 – Grandes manchas e/ ou fissuras de corrosão 4 – Corrosão acentuada na armadura principal, com perda relevante de seção.
Flechas	1 – Não perceptíveis a olho nu; 2 – Perceptíveis a olho nu, dentro dos limites previstos em norma; 3 – Superiores em até 40 % às previstas na norma; 4 – Excessivas.
Recalque	2 – Indícios, pelas características de trincas na alvenaria; 3 – Recalque estabilizado com fissuras em peças estruturais; 4 – Recalque não estabilizado com fissuras em peças estruturais.
Fissuras	1 – Aberturas menores do que as máximas previstas em norma; 2 – Estabilizadas, com abertura de até 40 % acima dos limites da norma; 3 – Aberturas excessivas; estabilizadas; 4 – Aberturas excessivas; não estabilizadas;
Carbonatação	1 – Localizada, com algumas regiões com pH < 9, sem atingir a armadura; 2 – Localizada, atingindo a armadura, em ambiente seco; 3 – Localizada, atingindo a armadura, em ambiente úmido; 4 – Generalizada, atingindo a armadura, em ambiente úmido.
Infiltração	1 – Indícios de umidade; 2 – Pequenas manchas; 3 – Grandes manchas; 4 – Generalizada.
Presença de cloretos	2 – Em elementos no interior sem umidade; 3 – Em elementos no exterior sem umidade; 4 – Em ambientes úmidos.
Manchas	2 – Manchas escuras de pouca extensão, porém significativas; 3 – Manchas escuras em todo o elemento estrutural
Sinais de esmagamento	3 – Desintegração do concreto na extremidade superior do pilar, causada por sobrecarga ou movimentação da superestrutura; fissuras diagonais isoladas; 4 – Fissuras de cisalhamento bidiagonais, com intenso lascamento (esmagamento) do concreto devido ao cisalhamento e a compressão, com perda substancial de seção, deformação residual aparente; exposição e início de flambagem de barras da armadura.
Desvio de geometria	2 – Pilares e cortinas com excentricidade $\leq h/100$ (h = altura) 3 - Pilares e cortinas com excentricidade $\geq h/100$ (h = altura)
Infiltração na base	3 – Indícios de vazamentos em tubulações enterradas que podem comprometer as fundações; 4 – Vazamentos em tubulações enterradas causando erosão aparente.

<b>Tipos de dano</b>	<b>Fator de intensidade do dano – Tipos de manifestação</b>
Junta de dilatação obstruída	2 – Perda de elasticidade do material da junta; 3 – Presença de material não compressível na junta.
Fissuras vizinhas as juntas de dilatação	2 – Lajes com início de fissuras adjacentes às juntas; 3 – Grande incidência de lajes com fissuras adjacentes às juntas; 4 – Idem, com prolongamento das fissuras em vigas e/ ou pilares de suporte.
Deslocamento por empuxo	3 – Deslocamento lateral no sentido horizontal, com excentricidade, porém estável; 4 – Deslocamento lateral no sentido horizontal, instável

**Fonte:** Rilem (1991) apud Castro (1994)

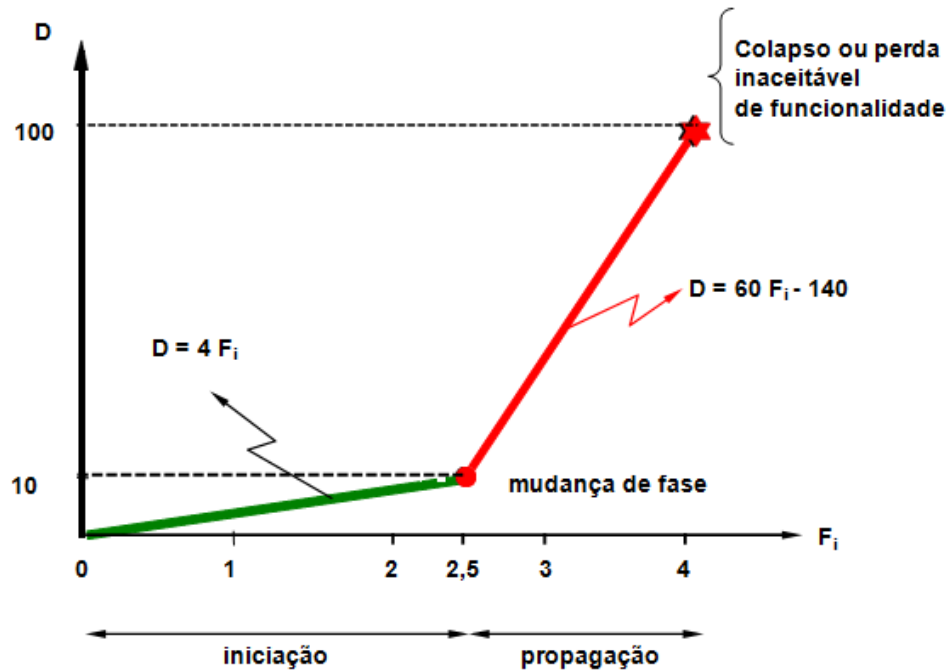
#### 4.9.4 Grau do dano

Para Castro (1994) o grau de dano no elemento (D) tem como propósito avaliar as manifestações patológicas de cada elemento.

Para calcular o valor do grau de dano é necessário ter o fator de ponderação ( $F_p$ ), característico de cada dano pré-estabelecido de acordo com cada elemento e o fator de intensidade ( $F_i$ ), que manifesta a intensidade do dano definido para um elemento estrutural (CASTRO, 1994).

A Figura 6 mostra a formulação de cálculo do grau de um dano de uma análise mais desfavorável,  $D = 10$ . A etapa de iniciação e propagação do dano é representada pelo fator de intensidade ( $F_i$ ), que varia de 0 a 4. A mudança de fase ocorre no fator de 2,5 que está entre o fator de 2,0 que indica uma lesão tolerável e fator de 3,0 que considera uma lesão grave. Para o grau de dano correspondente a  $F_i = 4,0$  considerado um estado crítico, foi estabelecido o limite máximo de  $D = 100$  (CASTRO, 1994).

Figura 6 - Formulação proposta para o cálculo do grau de um dano



Fonte: Castro (1994)

Castro (1994) explica que na primeira reta que corresponde a fase de que inicia o dano  $D = 0$ , indica a inexistência do dano, por onde se estende até as coordenadas  $(2,5; 10)$ , a qual determina a parte de transição de fase. Ou seja, caso o  $D < 10$ , significa que o elemento não necessita de intervenção imediata, entretanto, se  $D = 10$ , indica que há necessidade de reparos nas manutenções preventivas.

Castro (1994) expressa que o valor de  $D > 10$ , indica que há um aumento no dano significativo e que existe uma necessidade de prever um limite, estabelecido nesse gráfico pelo valor  $D=100$ . Entre esse intervalo, o estado é considerado crítico e há necessidade de intervenções imediatas para não comprometer a funcionalidade ou a segurança do local.

Dessa forma, Castro (1994) estabeleceu as equações 1 e 2, para calcular o valor do dano, para  $F_p = 10$ .

$$D = 4 F_i, \text{ para } F_i \leq 2,0 \quad (1)$$

$$D = 60 F_i - 140 \quad \text{para } F_i \geq 3,0 \quad (2)$$

Castro (1994) ressalta que os valores dos danos com o fator de ponderação menor do que 10, isto é  $F_p < 10$ , o grau do dano será alcançado por meio da multiplicação de  $F_p / 10$  nas equações 1 e 2 correspondente a cada fase, gerando assim as equações 3 e 4:

$$D = 0,4 \cdot F_i \cdot F_p \quad (3)$$

$$D = (6 F_i - 14) F_p \quad (4)$$

A formulação proposta por Castro (1994) terá uma função com duas variáveis, onde a primeira é o fator de ponderação que varia de  $0 \leq F_p \leq 10$  característico de cada dano e pré-determinado por cada família. A segunda variável é o fator de intensidade do dano onde o profissional que realiza a investigação estrutural, irá conceder um valor que varia de  $0 \leq F_i \leq 4$ .

#### 4.9.5 Grau de deterioração de um elemento

Castro (1994) determina o grau de deterioração de um elemento (Gde) em função da intensidade do dano localizado pelo profissional na inspeção é assim atribuindo a cada dano ( $F_i$ ) o grau respectivo do dano (D). Caso o dano for menor ou igual a 2 isto é:  $m \leq 2$ , utiliza-se a Equação 5, entretanto ser o valor do dano for maior do que 2, isto é:  $m > 2$ , utiliza-se a Equação 6.

$$G_{de} = D_{mx} \quad \text{para } m \leq 2 \quad (5)$$

$$G_{de} = D_{mx} + \frac{\sum_{i=1}^{m-1} D(i)}{m-1} \quad \text{para } m > 2 \quad (6)$$

Onde:

$D_i$  = Grau do dano de ordem (i)

m = Número de danos detectados no elemento



$D_{mx}$  = Maior dano da encontrado na estrutura

A justificativa de Castro (1994) para a elaboração da Equação 5, é que um elemento com apenas dois danos detectados devem permanecer no ponto de vista de uma avaliação sempre com o maior dano, onde não faria sentido ter uma média em que resultasse o valor de  $G_{de}$  menor do que o valor do dano detectado na avaliação.

Porém, sendo maior do que dois o número de danos do elemento, Castro (1994) decidiu desenvolver a Equação 6 para obter o grau de deterioração do elemento ( $G_{de}$ ), somando o grau máximo do dano na peça com a média dos demais danos.

Com o valor obtido do grau de deterioração do elemento ( $G_{de}$ ), Castro (1994) elaborou a Tabela 11 para determinar o nível de deterioração da estrutura. Contudo, Castro (1994) recomenda que o Quadro 11 não deve ser encarada com valores absolutos, mas como indicativos de como a estrutura está sendo apresentada.

**Quadro 11 - Classificação dos níveis de deterioração do elemento**

<b>Nível de deterioração</b>	<b>Gde</b>	<b>Medidas a serem adotadas</b>
Baixo	0 – 15	Estado aceitável
Médio	15 – 50	Observação periódica e necessidade de intervenção a médio prazo
Alto	50 – 80	Observação periódica minuciosa e necessidade de intervenção a curto prazo
Crítico	> 80	Necessidade de intervenção imediata para restabelecer a funcionalidade e/ ou segurança

Fonte: Castro (1994)

#### **4.9.6 Grau de deterioração de uma família de elementos**

Castro (1994) determina o grau de deterioração de uma família ( $G_{df}$ ) como a média dos graus de deterioração dos elementos que mostrem os danos mais expressivos. Isso significa que elementos mais danificados não podem ser escondidos entre os elementos com menor agravamento na estrutura.

Assim, Castro (1994) propõe na Equação 7 a média dos graus de deterioração, somente para os elementos em que o  $G_{de} \geq 15$ .

$$G_{df} = \frac{\sum_{i=1}^n G_{de(i)}}{n} \quad (7)$$

Onde:

$n$ : número de elementos componentes da família com  $G_{de} \geq 15$ .

Castro (1994) ressalva que família de elementos que estiver com grau de deterioração  $G_{de} \leq 15$ , para todos os elementos, terá o grau de deterioração da família de  $G_{df} = 0$ , dessa forma não colaborando para o cálculo do grau de deterioração da estrutura.

#### 4.9.7 Fator de relevância estrutural da família de elementos

O fator de relevância estrutural da família de elemento ( $F_r$ ), onde consta na metodologia proposta por Klein et al (1991) e adaptado por Castro (1994), tem como propósito considerar a importância das famílias de elementos, dentro da forma em que a obra será subdividida, levando em consideração o comportamento da estrutura e o bom desempenho.

Para Castro (1994), o conceito do fator de relevância obedecerá a tipologia de cada estrutura. Fusco (1976) classificou as peças estruturais como primário, secundário e terciário, dependendo da importância crescente de cada estrutura. Para a estrutura convencional, aplicou-se na pesquisa a uma escala com determinados fatores estipulados pelo autor, que especifica os critérios com mais relevância para uma família de elementos, descritos a seguir:

- Elementos de composição arquitetônica:  $F_r = 1,0$
- Reservatório superior:  $F_r = 2,0$
- Escadas/ rampas, Reservatório inferior, Cortinas, Lajes secundárias:  $F_r = 3,0$
- Lajes, Fundações, Vigas secundárias, Pilares secundários:  $F_r = 4,0$
- Vigas e Pilares principais:  $F_r = 5,0$

Castro (1994) ressalta que podem haver alterações e até mesmo inclusão de famílias de elementos, dependendo do sistema estrutural que está sendo analisado.

#### 4.9.8 Grau de deterioração da estrutura

O grau de deterioração da estrutura ( $G_d$ ), explícito na Equação 8, foi proposto por Klein et al (1991) e definido por Castro (1994), tendo como finalidade os diversos graus de deterioração das famílias de elementos, definidos em uma estrutura onde são afetados pelo coeficiente de relevância estrutural ( $F_r$ ) e pelo conjunto de famílias de elementos “K” que são constituídas em uma determinada estrutura.

$$G_d = \frac{\sum_{i=1}^k F_{r(i)} \cdot G_{df(i)}}{\sum_{i=1}^K F_{r(i)}} \quad (8)$$

Onde:

K: número de famílias de elementos presentes na edificação;

$F_r$ : fator de relevância estrutural de cada família;

$G_{df}$ : grau de deterioração da família.

Com o valor obtido na Equação 8, a estrutura será classificada em nível de deterioração, correspondente no Quadro 12, esses níveis variam de baixo até crítico, podendo haver uma intervenção de médio a curto prazo.

**Quadro 12 - Classificação dos níveis de deterioração da estrutura**

<b>Nível de deterioração</b>	<b><math>G_d</math></b>	<b>Medidas a serem adotadas</b>
Baixo	0 – 15	Estado aceitável
Médio	15 – 40	Observação periódica e necessidade de intervenção em médio prazo
Alto	40 – 60	Observação periódica minuciosa e necessidade de intervenção em curto prazo
Crítico	> 60	Necessidade de intervenção imediata para restabelecer a funcionalidade e/ ou segurança

**Fonte:** Castro (1994)

Na Tabela 12, Castro (1994) destaca medidas conforme o nível de deterioração da estrutura como um todo. Porém, as considerações feitas na análise individual dos  $G_{de}$  podem acarretar em uma intervenção imediata. Entretanto, ser for analisada a estrutura como um todo, pode ser que a deterioração de uma estrutura esteja satisfatória, mas podendo haver a necessidade de manutenção em elementos separados.

## 5 CARACTERIZAÇÃO DO LOCAL DE ESTUDO

A Estação de Tratamento de Água (ETA) Rio Descoberto foi inaugurada em fevereiro de 1986 com a capacidade de operação de 4.000 L/s, sendo o maior sistema de tratamento de águas do Distrito Federal, destinado a atender a princípio as cidades de Taguatinga, Gama, Ceilândia e Núcleo Bandeirante. Em dezembro de 1996, a estação passou por uma ampliação onde a sua capacidade foi aumentada para 6.000 L/s, abastecendo cerca de 60% da população do DF, englobando as cidades de Taguatinga, Ceilândia, Samambaia, Riacho Fundo I e II, Santa Maria, Gama, Núcleo Bandeirante, Candangolândia, Guará, Cruzeiro e uma parte do Plano Piloto.

A Figura 7 apresenta uma vista panorâmica de toda a Estação de Tratamento de Água do Rio Descoberto e onde se encontra localizado o TAPQ.

Figura 7 - Vista panorâmica da Estação de Tratamento de Água Rio Descoberto



Fonte: Caesb (2018)



Com a ampliação da estação, foi construído o Tanque de Aplicação de Produtos Químicos (TAPQ) conforme mostra as Figuras 8 e 9, para receber a água filtrada e ser adicionado cloro para desinfecção final, ácido fluossilícico para prevenção das cáries e cal para correção final do pH. Após a aplicação, a água passa para o reservatório e depois para o consumo público. O Quadro 13 apresenta algumas características do tanque.

**Figura 8 - Vista parcial 1 do TAPQ**



**Fonte:** Autor (2018)

**Figura 9 - Vista parcial 2 do TAPQ**



**Fonte:** Autor (2018)

Quadro 13 - Principais características do TAPQ

Características do TAPQ	
Ano da construção	1996
Tipo de construção	Em concreto armado
Paredes externas	25 cm
Paredes internas	20 cm
Cobrimento	4 cm
Tamanho	16,6 x 21,1 x 6,0 m
Capacidade	Aproximadamente 2.000 m <sup>3</sup>

Fonte: Caesb (2018)

### 5.1 Histórico das patologias

Conforme informado pela Coordenação do Sistema Rio Descoberto e Engenho das Lajes (PPASD), o tanque nunca passou por nenhum reparo desde a sua inauguração, pelo fato de ser muito importante no sistema de tratamento de água, não era possível fazer uma paralisação, pois, poderia afetar no fornecimento de água.

Todo ano a CAESB realiza uma limpeza geral na ETA, entretanto, o TAPQ nunca foi realizado essa limpeza. Durante o ano de 2017, técnicos começaram a perceber que o pH da água não estava saindo do TAPQ corretamente e começaram a desconfiar que seria areia dos filtros dentro do tanque. Dessa forma, foi realizada uma vistoria para verificar a presença de areia no tanque. Durante a vistoria foi detectada a presença de ferrugem exposta, o que fez com que solicitassem a paralisação do funcionamento do tanque para a realização de uma melhor análise.

A Coordenação PPASD decidiu fazer uma paralisação no tanque para que pudesse ser avaliado todo o nível de deterioração. Após algumas manobras e adaptações na ETA, foi possível interromper o funcionamento do tanque em maio de 2018.

## 6 METODOLOGIA

A princípio, para caracterizar as manifestações patológicas no tanque de aplicação de produtos químicos (TAPQ), analisou-se o histórico da estrutura para buscar indícios de possíveis manifestações durante o seu tempo de funcionamento.

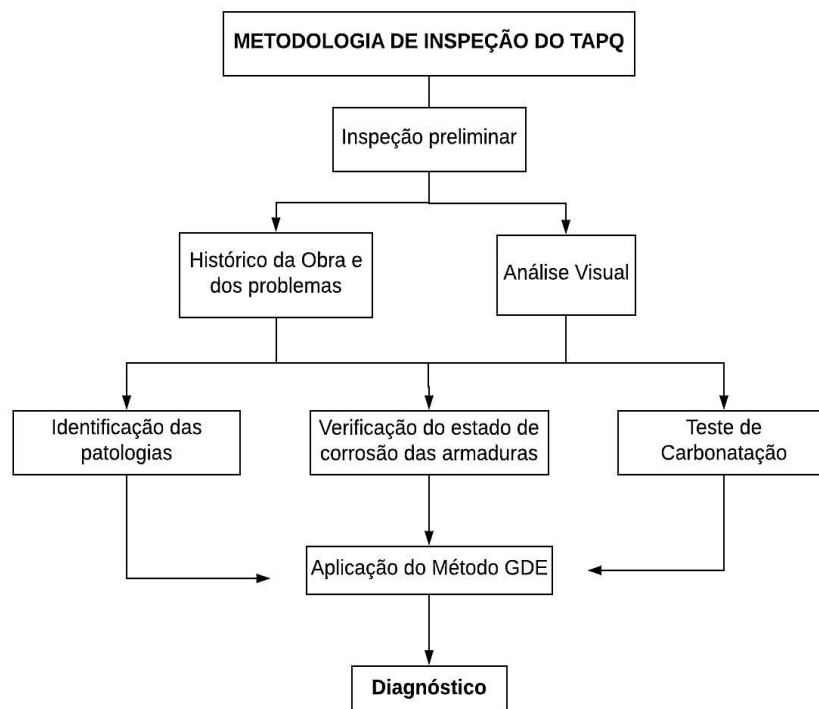
Em seguida, realizou-se uma análise visual na parte de dentro e de fora do tanque, onde se buscou detectar possíveis manifestações patológicas existentes, tais como: infiltração, corrosão, carbonatação, ataques por sulfatos, fissuração e exposição das armaduras.

Após a análise visual, foi realizado um mapeamento de todas as manifestações patológicas existentes no local. Para melhor caracterização da metodologia, o tanque foi dividido em duas áreas que serão considerados como famílias conforme mostra a Figura 11.

Logo após a aplicação do método, realizou-se a análise dos resultados e obteve-se o estado de deterioração da estrutura de concreto armado no tanque.

A Figura 10 apresenta o fluxograma de toda a metodologia de inspeção realizada no TAPQ.

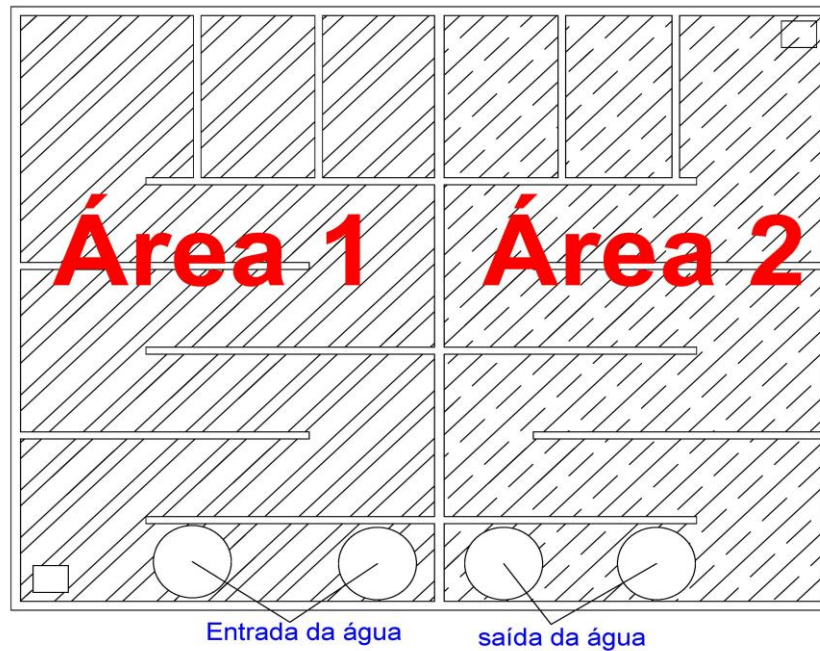
**Figura 10 - Fluxograma da metodologia utilizada no Tanque de aplicação de produtos químicos**



Fonte: Autor (2018)

Pelo fato do tanque ser bastante extenso e existir várias paredes divisórias, foi decidido dividir o tanque em duas áreas, chamadas como **Área 1** e **Área 2**, conforme mostra a Figura 11.

Figura 11 - Divisão das áreas



Fonte: Autor (2018)

Na Área 1 encontrasse duas adutoras de entrada da água e onde é feita a aplicação do cloro, do ácido fluossilícico e da cal. Na Área 2 encontra-se duas adutoras de saída de água que leva até o reservatório e um duto de descarga da água.

Foram realizados duas inspeções no TAPQ para encontrar um melhor resultado. A primeira inspeção foi realizada juntamente com a equipe de Coordenação do Sistema Rio Descoberto e Engenho das Lajes (PPASD) em toda a Área 1. A segunda inspeção foi realizada em parceria com a equipe de manutenção da CAESB que englobou todo o tanque.



## 7 APRESENTAÇÃO E ANÁLISES DOS RESULTADOS

### 7.1 Análise Visual

#### 7.1.1 Área 1

##### 7.1.1.1 Corrosão de Armaduras

Na abertura de acesso ao tanque foi observada uma intensa corrosão nas armaduras exposta com perda acentuada de seção. Nessa região, o revestimento observado foi de apenas 2 cm, que é considerado pouco para um reservatório (a norma 6118/2014 aconselha o revestimento para ambientes quimicamente agressivos de 4,5 cm.) , conforme apresenta a Figura 12.

Figura 12 - Corrosão de Armadura



Fonte: Autor (2018)

Sugere-se o tratamento das barras de aço de maneira a retirar os produtos de corrosão com jateamento abrasivo. Ao final do jateamento, devem-se verificar os pontos que apresentam perda de seção superior a 20% de seu diâmetro original é

realizar o complemento da ferragem corroída no local com seção adequada, logo em seguida refazer o cobrimento de toda essa área, garantindo os 4 cm.

#### 7.1.1.2 Pequena desagregação no concreto

Próximo da entrada de acesso ao tanque, existem vários pontos de desagregação do concreto, entretanto, pelo fato de o cobrimento ser de 4 cm nessa região, ainda não há exposição das armaduras nesses locais, conforme mostra a Figura 13.

Figura 13 - Desagregação do concreto



Fonte: Autor (2018)

Recomenda-se realizar a escarificação da região de reparo do concreto, de forma a remover todo o material solto e segregado e realizar o preenchimento do local de forma a garantir a aderência com o concreto antigo.

### 7.1.1.3 Corrosão na adutora

Foi observada uma intensa corrosão na borda da adutora mais próxima do lançamento do cloro. Nessa região a ferragem recebe diretamente uma grande quantidade de cloro, provocando a corrosão, conforme mostra a Figura 14.

Figura 14 - Corrosão na borda da adutora



Fonte: Autor (2018)

Como a borda mais próxima da aplicação do cloro encontra-se corroída, sugere-se o revestimento da borda da adutora com material resistente ao cloro, evitando assim a corrosão nesse local.

### 7.1.1.4 Grande desagregação do concreto devido ao cloro

Proximo à tubulação do cloro, foi identificado uma grande desagregação do concreto com a exposição completa das ferragens. Na região mais afastada da tubulação, pode-se observar que a ferragem encontra-se em um processo inicial de corrosão. Já na região mais proxima da tubulação, a ferragem se apresenta em um estado avançado de corrosão gerando perda de seção, conforme mostra a Figura 15.



**Figura 15 - Desagregação do concreto**



**Fonte:** Autor (2018)

É possível observar na Figura 16, que alguns parafusos que fazem o ligamento da tubulação, estão sem porcas, dando a entender que o cloro gasoso está vazando nesse local.

**Figura 16 - Parafuso da Tubulação sem porca**



**Fonte:** Autor (2018)

A Figura 17 apresenta manchas brancas, próximo à tubulação do cloro. Essas manchas estão localizadas ao lado do ligamento da tubulação que se encontra sem porca nos parafusos.

**Figura 17 - Manchas brancas, próximo ao duto de cloro.**



**Fonte:** Autor (2018)

Com o vazamento do cloro da tubulação mostrado na Figura 16, houve uma grande concentração de cloro que se transformou em um ácido clorídrico, esse ácido pode ser visto na Figura 17 onde apresenta manchas brancas, em consequência desse ácido, houve uma grande desagregação no concreto. A exposição direta da ferragem com o cloro propiciou a corrosão nas armaduras, causando perda de seção das ferragens mais próximas do vazamento e iniciando o processo de corrosão nas armaduras mais distantes, demonstrada na Figura 15.

Como o principal motivo para essa desagregação foi o vazamento, sugere-se eliminar o vazamento repondo às porcas faltantes e escarificar toda a área, fazendo a limpeza das ferragens com o jateamento de areia ou com jateamento de água quente para remover o cloro que fica incrustado no aço, em seguida, realizar o complemento das ferragens que se encontra com seção inferior a 20% (conforme NBR6118 e NBR 7480), e executar o preenchimento do concreto de forma a garantir a aderência.

#### **7.1.1.5 Desagregação no concreto**

Da mesma forma apresentado na Figura 17, a Figura 18 apresenta desagregação do concreto causado pelo vazamento do cloro. Essa desagregação encontra-se no canto da parede, onde recebe uma grande velocidade da água.

Figura 18 - Desagregação do concreto no canto da parede



Fonte: Autor (2018)

Como em alguns pontos a ferragem encontra-se exposta, recomenda-se escarificar toda a área segregada e realizar a limpeza das ferragens com o jateamento de areia ou com jateamento de água quente para remover o cloro que fica incrustado no aço, em seguida, realizar o complemento das ferragens que se encontra com seção inferior a 20% (conforme NBR6118 e NBR 7480), e executar o preenchimento do concreto de forma a garantir a aderência.

#### **7.1.1.6 Impermeabilização danificada**

Em toda a área foi identificado que a impermeabilização encontra-se danificada, com a presença de bolhas ou há inexistência em alguns pontos, conforme apresenta as Figuras 19 e 20.



**Figura 19 - Impermeabilização danificada**



**Fonte:** Autor (2018)

**Figura 20 - Impermeabilização com bolhas**



**Fonte:** Autor (2018)

Os danos da impermeabilização acontecem através do ácido fluossilícico que é altamente agressivo provocando bolhas e gerando deslocamento da impermeabilização e deixando o concreto exposto.

Como a área 1 recebe aplicação do ácido fluossilícico, recomenda-se realizar uma nova impermeabilização em toda a área com um produto resistente a ácidos.

### 7.1.1.7 Buraco com perda de seção das ferragens

Próximo ao paredão em que a água tem que ultrapassar para alcançar a Área 2 apresentado na Figura 21, foi observado um buraco em que se encontra na 3ª camada de concreto que é a base de nivelamento do tanque. Na 1ª camada é possível notar que a corrosão deteriorou toda a ferragem, já na 2ª camada a corrosão encontra-se em um estado avançado gerando perda de seção conforme mostram as Figuras 22 e 23.

**Figura 21 - Paredão de separação das áreas**



**Fonte:** Autor (2018)

**Figura 22 - Buraco com perda total da ferragem na primeira camada.**



**Fonte:** Autor (2018)



**Figura 23 - Buraco com perda de seção na ferragem da segunda camada.**



**Fonte:** Autor (2018)

Com a verificação da velocidade da água e o percurso que ela faz, foi constatado que o buraco mostrado nas Figuras 22 e 23, foi criado por um vórtex<sup>1</sup>. Como o concreto desagregou formando o buraco, a ferragem ficou exposta facilitando a corrosão pelo cloro.

Como o vórtex é praticamente inevitável, sugere-se o refazimento da ferragem naquele local e o recobrimento além da instalação de uma placa de inox em toda a área próximo ao paredão, para que em uma eventual mudança do local do vórtex, possa se evitar a desagregação do concreto.

## **7.1.2 Área 2**

### **7.1.2.1 Impermeabilização danificada**

Foram observados que toda a impermeabilização da área está danificada ou não existe mais, conforme mostram as Figuras 24 e 25.

---

<sup>1</sup> Escoamento giratório onde as linhas de correntes apresentam um padrão circular ou espiral. São movimentos espirais ao redor de um centro de rotação.

**Figura 24 – Locais onde não existe mais a impermeabilização**



Fonte: Autor (2018)

**Figura 25 – Impermeabilização danificada**



Fonte: Autor (2018)

Apesar de nessa região, o ácido fluossilícico já se apresentar diluído na água, mesmo assim é um produto muito agressivo à impermeabilização.

Como o produto é extremamente importante no tratamento da água, recomenda-se que toda a área 2, passe por uma nova impermeabilização com um produto resistente ao referido ácido.

#### **7.1.2.2 Corrosão no cano de descarga**

O início do cano de descarga encontra-se em um estado de corrosão avançado, conforme apresentam as Figuras 26 e 27.



**Figura 26 - Dentro do cano de descarga**



**Fonte:** Autor (2018)

**Figura 27 - Corrosão no tanque de descarga**



**Fonte:** Autor (2018)

A corrosão só acontece no início da tubulação, a partir de um determinado ponto não há mais corrosão, pelo fato de não existir oxigênio.

Sugere-se fazer a substituição do início do cano que se encontra corroído por um novo em material anticorrosivo como, por exemplo, aço inox, com isso evitaria a corrosão nesse local.

## 7.2 Ensaio de Carbonatação

Procurando verificar a alteração do pH do concreto no interior do tanque, foram realizados ensaios de carbonatação através de aspersão do indicador fenolftaleína em todos os locais avaliados e constatou que o produto em reação com o concreto ficou incolor, indicando que o pH está baixo ( $\text{pH} < 9$ ), conforme apresenta a Figura 30.

Figura 28 - Teste de Carbonatação



Fonte: Autor (2018)

## 7.3 Aplicação do método GDE/UnB

### 7.3.1 Área 1

A Tabela 14 apresenta o resultado dos graus de deterioração do elemento realizados para a área 1 em análise.

Tabela 1 - Gde da área 1

DANOS	Fp	Fi	D
Impermeabilização danificada	4	4	40
Vazamento	5	-	-
Segregação	8	4	80
Lixiviação	7	2	5,6

DANOS	Fp	Fi	D
Esfoliação	6	4	60
Desagregação	7	4	70
Cobrimento Deficiente	10	3	40
Manchas de corrosão	10	-	-
Fissura	7	-	-
Carbonatação	6	4	60
Presença de Cloretos	10	4	100
Infiltração na base	7	-	-
			$G_{de}$ 144,45

Fonte: Autor (2018)

Observa-se que o grau de deterioração do elemento do tanque TAPQ se apresenta com nível de deterioração crítico, com a necessidade de intervenção imediata para restabelecer a funcionalidade e/ou segurança.

### 7.3.2 Área 2

A Tabela 16 apresenta o resultado dos graus de deterioração do elemento realizados para a área 2 em análise.

Tabela 2 - Gde da área 2

DANOS	Fp	Fi	D
Impermeabilização danificada	4	4	40
Vazamento	5	-	-
Segregação	8	-	-
Lixiviação	7	-	-
Esfoliação	6	2	4,8
Desagregação	7	2	5,6
Cobrimento Deficiente	10	-	-
Manchas de corrosão	10	-	-

DANOS	Fp	Fi	D
Fissura	7	-	-
Carbonatação	6	3	24
Presença de Cloretos	10	4	100
Infiltração na base	7	-	-
		$G_{de}$	118,6

Fonte: Autor (2018)

Observa-se que o grau de deterioração do elemento do tanque TAPQ se apresenta com nível de deterioração crítico, com a necessidade de intervenção imediata para restabelecer a funcionalidade e/ou segurança.

### 7.3.3 Grau de deterioração da estrutura

Com base nos valores obtidos das áreas 1 e 2. A tabela 16 apresenta o grau de deterioração da estrutura.

Tabela 3 - Grau de deterioração da estrutura

Família de elementos	$G_{de}$	$F_r$	$G_{de} \times F_r$
Área 1	144,45	3	433,35
Área 2	118,6	3	355,8
Total		6	789,15
		$G_d =$	131,53

Fonte: Autor (2018)

Observa-se que a estrutura do tanque TAPQ se apresenta com nível de deterioração crítico, com a necessidade de intervenção imediata para restabelecer a funcionalidade e/ou segurança.

## 8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante do estudo realizado no Tanque de Aplicação de Produtos Químicos (TAPQ), podem-se obter as seguintes conclusões:

- As inspeções visuais realizadas nas duas áreas possibilitaram identificar diversas manifestações patológicas, tais como, desagregação do concreto, ferragens expostas com perda de seção e impermeabilização danificada, onde as maiores incidências foram encontradas na área 1.
- Apesar de existir aplicação de três tipos de produtos químicos no tanque, é possível afirmar que o cloro foi o que mais prejudicou a estrutura, portanto, é necessário que exista uma maior atenção para evitar possíveis manifestações patológicas posteriormente.
- No ensaio de carbonatação, foram observados que todo o tanque encontra-se com o pH abaixo de 9,5, isso indica que o concreto encontra-se carbonatado.
- Com aplicação da metodologia GDE/UnB nas áreas 1 e 2, foi obtido o grau de deterioração dos elementos, com os valores respectivamente de 144,45 e 118,6, indicando um nível de deterioração crítico, com a necessidade de intervenção imediata para restabelecer a funcionalidade e/ou segurança.
- Apesar da área 2 obter um valor de 118,6 e atingir um nível de deterioração do elemento como crítico, o local encontra-se bastante conservada na parte estrutural. Entretanto a área apresenta esse nível, pelo fato da impermeabilização encontra-se toda danificada e existir uma grande quantidade de cloreto passando naquele local.
- O grau de deterioração da estrutura apresentou um valor de 131,53, indicando um nível de deterioração crítico, tendo como necessidade de uma intervenção imediata para restabelecer a funcionalidade e/ou segurança.

Apesar de o tanque ter 22 anos de funcionamento e sem ter passado por nenhuma manutenção, se não fosse o problema do vazamento, o estado de deterioração da estrutura seria satisfatório, isso tendo como base a área 2 que só necessita realizar uma nova impermeabilização no local e a troca do cano de descarga corroído.

Com base nas análises realizadas, pode-se concluir que o TAPQ necessita de uma manutenção corretiva para voltar ao seu funcionamento normal.

E de suma importância que o TAPQ passe sempre por manutenções preventivas e corretivas para evitar possíveis manifestações patológicas encontradas nessa análise.

Ressalta-se que a metodologia GDE/UnB é aplicada com base em análise visual e com valores sugestivos, podendo apresentar diferenças, dependendo da análise do profissional.

### **8.1 SUGESTÃO DE TRABALHOS FUTUROS**

- Aplicação da metodologia GDE/UnB e análise das patologias nos reservatórios da CAESB.
- Análise das patologias nos tanques das Estações de Tratamento de Esgoto (ETE) da CAESB.
- Análise das patologias no tanque de aplicação de produtos químicos de outras ETAs.
- Análise estrutural das elevatórias da CAESB.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. (2013). *NBR15575-1 Edificações Habitacionais - Desempenho*. Rio de Janeiro: ABNT.
- ABNT. (1999). *NBR5674: manutenção de edificação: procedimento*. Rio de Janeiro: ABNT.
- ABNT. (07 de AGOSTO de 2014). *NBR 6118: projeto de estruturas de concreto: procedimento*. Rio de Janeiro: ABNT.
- Araujo, j. M. (2014). *CURSO DE CONCRETO ARMADO (Vol. 1ª )*. Rio Grande: Dunas.
- Carvalho, R. C., & Filho, J. R. (2016). *Cálculo e Detalhamento de Estruturas Usuais de Concreto Armado*. São Carlos - SP: Universidade Federal de São Carlos.
- Castro, E. K. (1994). *Desenvolvimento de Metodologia para Manutenção de Estruturas de Concreto Armado*. Dissertação, Dissertação (Dissertação em Estruturas) - UNB, Brasília.
- FUSCO, P. B. (1976). *Estrutura de concreto - Fundamentos do projeto estrutural*. McGraw-Hill.
- Helene, P. (2005). *MANUAL DE REPARO, PROTEÇÃO E REFORÇO DE ESTRUTURAS DE CONCRETO*. São Paulo: Multipla.
- KLEIN, D., GASTAL, F., CAMPANOLO, J. L., & SILVA FILHO, L. C. ( Novembro de 1991). Critérios adotados na vistoria de obras de arte. *XXV Jornadas Sul-Americanas de Engenharia Estrutural*, 185 - 196.
- Mehta, P. K., & Monteiro, P. J. (2014). *CONCRETO Microestrutura, Propriedade e Materiais ( 2ª ed.)*. São Paulo: IBRACON.
- Neville, A. (2016). *PROPRIEDADE DO CONCRETO (5ª ed.)*. Porto Alegre: Bookman.
- Possam, E., & Demoliner, C. A. (2013). DESEMPENHO, DURABILIDADE E VIDA ÚTIL DAS EDIFICAÇÕES: ABORDAGEM GERAL. *TÉCNICO-CIENTÍFICA*, 14.
- RILEM. (1991). *Technical committee - Damage Classification of Concrete Structure (Vol. 24)*. Chapman & Hall.
- Souza, V. C., & Ripper, T. (1998). *PATOLOGIA, RECUPERAÇÃO E REFORÇO DE ESTRUTURAS DE CONCRETO ( 1ª ed.)*. São Paulo: Pini Ltda.
- the International Organization for Standardization. (1984). *ISO 6241 Performance standards in building - Principles for their preparation and factors to be considered*. ISO.