

**UNIEVANGÉLICA**

**CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

**JORGE CONRADO DE OLIVEIRA**

**LEVANTAMENTO DE MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS  
EM ESTRUTURA DE CONCRETOARMADO - ESTUDO DE  
CASO: ESTÁDIO DE MÚLTIPLO USO ARENA DAS  
CAVALHADAS EM PIRENÓPOLIS, GOIÁS**

**ANÁPOLIS / GO**

**2015**

**JORGE CONRADO DE OLIVEIRA**

**LEVANTAMENTO DE MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS  
EM ESTRUTURA DE CONCRETO ARMADO - ESTUDO DE  
CASO: ESTÁDIO DE MÚLTIPLO USO ARENA DAS  
CAVALHADAS EM PIRENÓPOLIS, GOIÁS**

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

**ORIENTADORA: MESTRA JULLIANA SIMAS RIBEIRO**

**ANÁPOLIS / GO: 2015**

## FICHA CATALOGRÁFICA

OLIVEIRA, JORGE CONRADO DE.

Levantamento de manifestações patológicas em estrutura de concreto armado – Estudo de caso: Estádio de Múltiplo Uso Arena das Cavalhadas em Pirenópolis, Goiás [Goiás] 2015

76P, 297 mm (ENC/UNI, Bacharel, Engenharia Civil, 2015).

TCC - UniEvangélica

Curso de Engenharia Civil.

1. Patologia

2. Manifestações patológicas

3. Concreto armado

4. Arena das Cavalhadas

I. ENC/UNI

II. Levantamento de manifestações patológicas em

estrutura de concreto armado – Estudo de caso: Estádio de Múltiplo Uso Arena das Cavalhadas em Pirenópolis, Goiás. (1ª)

## REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

OLIVEIRA, J. C. Levantamento de manifestações patológicas em estrutura de concreto armado – Estudo de caso: Estádio de Múltiplo Uso Arena das Cavalhadas em Pirenópolis, Goiás. TCC, Curso de Engenharia Civil, UniEvangélica, Anápolis, GO, 76p. 2015.

## CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Jorge Conrado de Oliveira

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO:

Levantamento de manifestações patológicas em estrutura de concreto – Estudo de caso:

Estádio de Múltiplo Uso Arena das Cavalhadas em Pirenópolis, Goiás.

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.

# **JORGE CONRADO DE OLIVEIRA**

**LEVANTAMENTO DE MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM ESTRUTURA DE  
CONCRETO ARMADO - ESTUDO DE CASO: ESTÁDIO DE MÚLTIPLO USO  
ARENA DAS CAVALHADAS EM PIRENÓPOLIS, GOIÁS**

**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:**

---

**JULLIANA SIMAS RIBEIRO, Mestra (UniEvangélica)  
(ORIENTADORA)**

---

**ROGÉRIO SANTOS CARDOSO, Mestre (UniEvangélica)  
(EXAMINADOR INTERNO)**

---

**ELIVANETE ALVES DE JESUS, Doutora (UniEvangélica)  
(EXAMINADORA INTERNA)**

**DATA: ANÁPOLIS/GO, VINTE E OITO DE MAIO DE DOIS MIL E QUINZE.**

É dedicado às pessoas que sempre estiveram ao meu lado pelos caminhos da vida, me acompanhando, apoiando e principalmente acreditando em mim.

A Deus, aos ensinamentos de todos os professores, ao apoio da minha família, em especial à minha vó, amigos e a mim que mantive o meu foco para não desistir dos meus ideais.

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus pela dádiva da existência.

A todos que direta ou indiretamente fizeram parte da minha formação: minha avó, minha mãe, meus amigos, os mestres do passado e todos os que compartilharam um pouco do que sabem comigo.

A minha orientadora Julliana, pelo suporte no pouco tempo que lhe coube.

Aos meus amigos nesta vida acadêmica.

A esta universidade, seu corpo docente, direção e administração.

*“É muito melhor lançar-se em busca de conquistas grandiosas, mesmo expondo-se ao fracasso, do que alinhar-se com os pobres de espírito, que nem gozam muito nem sofrem muito, porque vivem numa penumbra cinzenta, onde não conhecem nem vitória, nem derrota.”*

(Theodore Roosevelt)

## RESUMO

No Brasil a maioria de suas estruturas são construídas em concreto armado, e utiliza, em boa parte, mão de obra de pouca qualidade, geralmente com vícios, que aliado à falta de fiscalização resulta em estruturas com alto índice de patologias e em consequência uma menor vida útil da estrutura. Os bons resultados de desempenho do concreto armado requerem cuidados em sua elaboração, em sua execução, que deve envolver estudo dos materiais e traços adequados, além da dosagem, cura e proteção contra os agentes agressivos. As patologias estão presentes nas construções desde que surgiu o ato de construir, seja por falta de capacitação do pessoal, materiais de baixa qualidade, causas naturais ou ações externas. Este trabalho buscou levantar as principais manifestações patológicas nas estruturas de concreto armado ocorridas no Estádio de Múltiplo Uso Arena das Cavalhadas localizado em Pirenópolis, Goiás. Através de inspeção visual permitiu-se observar as condições atuais do empreendimento levantando as patologias ocorridas. No primeiro capítulo são analisadas as origens dos defeitos. No seguinte, são descritos as principais patologias encontradas numa estrutura de concreto armado, suas causas e fatores que intervêm. No terceiro capítulo aborda o estudo de caso com as ocorrências encontradas. E por último são apresentadas as conclusões destacando a importância de se tratar das patologias nas estruturas de concreto armado mostrando indícios que há muito por se fazer em termos de qualidade aliadas ao baixo custo na construção de obras públicas.

Palavras chave: Manifestações patológicas. Patologia. Concreto armado. Arena das Cavalhadas.

## **ABSTRACT**

In Brazil, the majority of their structures are constructed of reinforced concrete, and uses, in good part, labor of low quality, usually with vices, which combined with the lack of enforcement results in structures with high index of pathologies and in consequence a shorter service life of the structure. The good results of performance of reinforced concrete require care in their preparation, in their implementation, which should involve study of materials and appropriate traits, in addition to strength, healing and protection against the aggressive agents. The pathologies are present in buildings since the act of building, either due to lack of staff training, materials of low quality, natural causes or external actions. This work sought to raise the main pathological manifestations in reinforced concrete structures occurring in Stage Multi-Use Arena Cavalcadas located in Pirenópolis, Goiás. Through visual inspection was allowed to observe the current conditions of the enterprise by lifting the pathologies that have occurred. In the first chapter are analyzed the origins of defects. In the following, are described the main pathologies found in a reinforced concrete structure, its causes and factors that are involved. The third chapter discusses the case study with the matches found. And finally the findings that are highlighting the importance of addressing the pathologies of reinforced concrete structures showing evidence that there is much to do in terms of quality combined with the low cost in the construction of public works.

**Key words:** Pathological manifestations. Pathology. Reinforced concrete. Arena Cavalcadas.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> – Lei de evolução de custos, Lei de Sitter.....	16
<b>Figura 2</b> – Foto panorâmica do Estádio de Múltiplo Uso Arena das Cavalhadas.....	20
<b>Figura 3</b> – Fases de desempenho de uma estrutura durante sua vida útil.....	25
<b>Figura 4</b> – Interações no concreto.....	27
<b>Figura 5</b> – Variação da profundidade de carbonatação com o tempo e com a relação a/c..	36
<b>Figura 6</b> – Fissuras na passarela de pedestres do Estádio.....	40
<b>Figura 7</b> – Detalhe de fissuração do pilar da escada destinada à pessoas com limitações físicas.....	41
<b>Figura 8</b> – Detalhe do pilar de sustentação da arquibancada do Estádio.....	42
<b>Figura 9</b> – Detalhes de fissuras nas laterais da arquibancada.....	42
<b>Figura 10</b> – Fissuras verificadas no piso superior da arquibancada.....	43
<b>Figura 11</b> – Passarela de acesso ao outro lado do estádio apresetando fissuras.....	44
<b>Figura 12</b> – Detalhes das fissuras na passarela.....	44
<b>Figura 13</b> – Recalque ocasionado na estrutura.....	45
<b>Figura 14</b> – Detalhe da dimensão do recalque.....	45
<b>Figura 15</b> – Fissuras nas escadas de ambas as entradas ocasionadas por recalque.....	46
<b>Figura 16</b> – Fissuras causadas por recalque na fundação.....	47
<b>Figura 17</b> – Viga fissurada por cargas concentradas.....	47
<b>Figura 18</b> – Reforço da passarela de pedestre com chapas metálicas.....	48
<b>Figura 19</b> – Corrosão das armaduras da parte inferior da laje da escada de entrada.....	49
<b>Figura 20</b> – Corrosão das armaduras na sustentação da escada.....	50
<b>Figura 21</b> – Corrosão das armaduras da laje da passarela de pedestres.....	50
<b>Figura 22</b> – Desagregação ocasionada por infiltração na laje do segundo andar do estádio.....	52
<b>Figura 23</b> – Desagregação no pilar estrutural da arquibancada.....	52
<b>Figura 24</b> – Eflorescências ocorridas na laje da passarela de pedestres.....	53
<b>Figura 25</b> – Eflorescências e danos de infiltrações.....	54
<b>Figura 26</b> – Danos de infiltrações na laje do segundo andar da arquibancada.....	54
<b>Figura 27</b> – Segregação no pilar estrutural da arquibancada.....	55
<b>Figura 28</b> – Segregação ocasionada em outro pilar da estrutura.....	55
<b>Figura 29</b> – Desagregação e segregação ocasionada nas passarelas de pedestres.....	56

<b>Figura 30</b> – Manchas na superfície do concreto.....	57
<b>Figura 31</b> – Infiltrações ocorridas na laje da arquibancada, com degregação de concreto	57
<b>Figura 32</b> – Detalhamento da região mais afetada por danos das infiltrações.....	58
<b>Figura 33</b> – Danos de infiltrações na parte interna do estádio, nas áreas de convivência...	58
<b>Figura 34</b> – Deformações no pilar de sustentação da escada.....	59
<b>Figura 35</b> – Estrutura principal do estádio.....	68
<b>Figura 36</b> – Entrada principal e passarela de acesso a arquibancada.....	68
<b>Figura 37</b> – Passarela destinada às pessoas com limitações físicas que se encontra interdita.....	69
<b>Figura 38</b> – Vista inferior da passarela destinada às pessoas com limitações físicas.....	69
<b>Figura 39</b> – Parte inferior a passarela.....	70
<b>Figura 40</b> – Espaço destinado a feiras e eventos localizado abaixo da arquibancada.....	70
<b>Figura 41</b> – Espaço destinado a feiras e eventos.....	71
<b>Figura 42</b> – Detalhe da arquibancada toda em estrutura de concreto.....	71
<b>Figura 43</b> – Área de camarotes, cabines de rádios, banheiros e de conveniência.....	72
<b>Figura 44</b> – Laje superior da arquibancada com vista da entrada principal.....	72
<b>Figura 45</b> – Vista da segunda entrada.....	73
<b>Figura 46</b> – Interior do espaço de conveniência (área de banheiros, bebedouros, cabines de rádio.....	73
<b>Figura 47</b> – Passarela de pedestres e de acessibilidade da segunda entrada.....	74
<b>Figura 48</b> – Estrutura da arquibancada e da passarela de pedestres.....	74
<b>Figura 49</b> – Piso 1 da área de conveniência.....	75
<b>Figura 50</b> – Piso 2.....	75
<b>Figura 51</b> – Parte inferior da passarela de pedestres da segunda entrada.....	76
<b>Figura 52</b> – Escada da lateral da segunda entrada.....	76

## LISTA DE QUADROS

<b>Quadro 1</b> – Vantagens e Desvantagens do Concreto Armado quanto ao seu uso estrutural.....	24
<b>Quadro 2</b> – Classe de agressividade ambiental.....	37

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> – Análise percentual das causas de problemas patológicos em estruturas de concreto.....	18
<b>Tabela 2</b> – Gasto com reparo e manutenção em alguns países.....	18
<b>Tabela 3</b> – Limites máximos para a expansão devida a reação álcali-agregado e teores de cloretos e sulfatos presentes nos agregados.....	35

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	15
1.1 JUSTIFICATIVA E CONTEXTO DO TEMA.....	15
1.2 OBJETIVOS.....	19
<b>1.2.1 Objetivos gerais</b> .....	19
<b>1.2.2 Objetivos específicos</b> .....	19
1.3 DELIMITAÇÕES.....	19
1.4 JUSTIFICATIVA AO ESTUDO DE CASO.....	19
1.5 EDIFICAÇÃO EM ESTUDO.....	20
1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO.....	20
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	22
2.1 ESTRUTURAS EM CONCRETO ARMADO.....	23
<b>2.1.1 Vida útil e durabilidade</b> .....	25
2.2 PATOLOGIAS DO CONCRETO ARMADO.....	26
<b>2.2.1 Origem da patologia nas estruturas de concreto armado</b> .....	27
<b>2.2.2 Origem da patologia na etapa de projeto</b> .....	28
<b>2.2.3 Origem da patologia na etapa de materiais</b> .....	29
<b>2.2.4 Origem da patologia na etapa de execução</b> .....	30
<b>2.2.5 Origem da patologia na etapa de utilização da estrutura (manutenção)</b> .....	32
2.3 FATORES DA DETERIORAÇÃO DAS ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO.....	33
<b>2.3.1 Causas mecânicas e físicas</b> .....	33
<b>2.3.2 Causas químicas</b> .....	34
<b>2.3.3 Causas biológicas</b> .....	37
<b>2.3.4 Local da estrutura</b> .....	37
<b>3 LEVANTAMENTO DE MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS NAS ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO EMBASADO NO ESTUDO DE CASO</b> .....	39
3.1 FISSURAS.....	39
3.2 CORROSÃO DAS ARMADURAS.....	48
3.3 DESAGREGAÇÃO E SEGREGAÇÃO DO CONCRETO, INFILTRAÇÕES, EFLORESCÊNCIAS E DEFORMAÇÕES.....	51

3.4 RECOMENDAÇÕES.....	59
3.5 INSPEÇÃO E DIAGNÓSTICO DE MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM ESTRUTURAS DE CONCRETO.....	60
<b>4 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>63</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>65</b>
<b>APÊNDICE A – EMPREENDIMENTO EM ESTUDO: FOTOS.....</b>	<b>68</b>

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 JUSTIFICATIVA E CONTEXTO DO TEMA

Comparado com décadas anteriores, há grandes alterações nos processos de construção que hoje existem. Procura-se construir com o máximo de economia e buscam-se novas técnicas e materiais que possam ser utilizados com menores custos e maior rendimento, conduzindo a obra com maior velocidade, diminuindo os controles de mão-de-obra e de materiais. A busca por esse aumento de produtividade aumenta a probabilidade de ocorrências de defeitos, o que faz com que o conhecimento das futuras conseqüências dessa inadequada utilização dos materiais e das diversas técnicas construtivas seja indispensável a todos os profissionais envolvidos na construção.

Tornou-se freqüente a falta de qualidade e a apresentação de desempenho insatisfatório nas edificações. As adoções de posturas não técnicas, acelerando os processos de construção não avaliam a dimensão e importâncias dos problemas que estão criando. Devido a isto, os problemas patológicos surgem em uma enorme quantidade, em edificações de modo geral, com maior ou menor intensidade e podem, em sua maioria, ser resolvidos.

Para Souza e Ripper (1998) *apud* Silva, (2011), designa-se genericamente por Patologia das Estruturas "um novo campo da Engenharia das Construções que se ocupa do estudo das origens, formas de manifestação, conseqüências e mecanismos de ocorrência das falhas e dos sistemas de degradação das estruturas."

Os fenômenos patológicos apresentam manifestação externa característica, a partir da qual se pode deduzir a natureza, a origem e os mecanismos dos fenômenos envolvidos. Algumas manifestações incidem com mais constância, devido à falta de cuidados que freqüentemente são ignorados, seja no projeto, na execução ou até mesmo na utilização. Os problemas de patologia de maior gravidade nas estruturas em concreto armado, especialmente pelo seu evidente risco à integridade da estrutura, são a corrosão da armadura do concreto, as fissuras e as flechas excessivas das peças estruturais. (HELENE, 1992)

A falta de manutenção faz com que pequenos problemas, que teriam baixo de recuperação, cresçam para situações que comprometam a estabilidade, a estética e, muitas vezes até mesmo a segurança estrutural. Determinadas manifestações se apresentam com mais freqüência, devido a necessidade de cuidados que não são tomados.

Mesmo as estruturas bem projetadas e construídas, e corretamente utilizadas, desenvolvem patologias. Muitos são os casos de estrutura que, por um motivo ou por outro, necessitam ter sua capacidade portante aumentada.

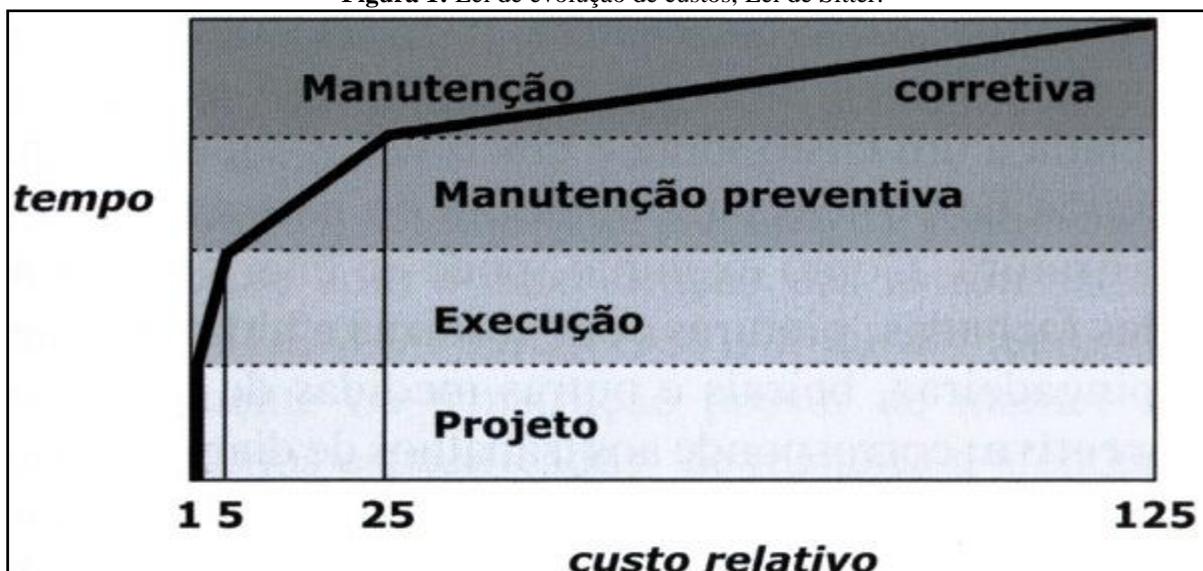
A patologia como estudo dos problemas que aparecem nas construções, é um tema que ganhou importância; inicialmente com os elementos estruturais, por sua importância em relação a segurança da edificação, mais tarde a preocupação se estendeu aos demais elementos construtivos.

Segundo Steen (1991), *apud* Andrade, (1997), o valor do estudo da Patologia das Construções está na necessidade de divulgação das manifestações patológicas mais incidentes; no conhecimento evolutivo dos problemas, sendo estes o quanto antes identificados, menor o custo para reparar o que já foi danificado. Ou seja, a execução das correções serão mais fáceis e muito mais econômicas quanto mais cedo forem realizadas.

Da mesma forma, os conceitos de qualidade e de garantia desta qualidade são sérias questões a carecer de análises mais atualizadas, assim como, e em especial, a segurança estrutural. Esta, em particular, por estar diretamente relacionada à pressão que a opinião pública exerce e aos riscos de enormes prejuízos humanos e materiais. (SOUZA e RIPPER, 1998).

Dividindo as etapas de construção em quatro períodos que correspondem ao projeto, à execução, à manutenção preventiva e corretiva, cada período resultará em um custo que segue uma progressão geométrica de razão cinco (Lei de Sitter), conforme Figura 1. (VITÓRIO, 2005)

**Figura 1:** Lei de evolução de custos, Lei de Sitter.



Fonte: VITÓRIO, 2005.

Para Silva (2011) existem várias maneiras de evitar a ocorrência de manifestações patológicas nas estruturas, tais como: investimento da indústria da construção civil em tecnologia e em melhor qualificação da mão de obra; mudança de mentalidade dos consumidores, passando a exigir mais qualidade e garantia de durabilidade dos produtos adquiridos, focando, também, na importância da manutenção preventiva. Ou seja, conscientização de projetistas (especificação de concretos com uma trabalhabilidade adequada, dimensionamento de peças estruturais com densidades de armadura que permitam uma concretagem eficiente, entre outros), construtores (cuidado nas etapas de transporte, lançamento e adensamento, garantia da espessura de cobertura das armaduras de projeto, entre outros) e usuários de todos os níveis econômicos, quanto à importância de garantir a vida útil da estrutura, gastando o mínimo possível em obras de recuperação e reforço (geralmente as empresas que trabalham com recuperação estrutural só são chamadas quando o dano atinge o grau elevado de degradação).

Pesquisadores tem procurado a definição de qual atividade seja responsável, ao longo dos anos, pela maior quantidade de erros. Souza e Ripper tirou algumas conclusões através da Tabela 1.

Segundo Medeiros e Helene (2009) a manutenção e os reparos tem se tornado questões difundidas e preocupantes em alguns países, principalmente quando se analisa em termos de custos. Já que esses serviços exigem gastos de bilhões acarretando grande impacto econômico, e chegando, até mesmo, a representar 50% dos gastos feitos em construções em algumas situações. Representam valores na Tabela 2, referindo-se a gastos com reparo e manutenção em alguns países.

Portanto, o estudo de levantamento de manifestações patológicas e suas origens é de grande valia para a verificação das causas incidentes para que o meio técnico envolvido possam tomar medidas de prevenção.

Este estudo ligado à obra do Estádio de Múltiplo Uso Arena das Cavalhadas, levantando a quantidade de ocorrências detectadas dando indícios que ainda há o que se fazer em termos de qualidade e durabilidade nos sistema estrutural dessa edificação.

**Tabela 1:** Análise percentual das causas de problemas patológicos em estruturas de concreto.

FONTE DE PESQUISA	CAUSAS DOS PROBLEMAS PATOLÓGICOS EM ESTRUTURAS DE CONCRETO			
	Concepção e Projeto	Materiais	Execução	Utilização e Outras
Edward Grunau Paulo Helene (1992)	44	18	28	10
D.E. Allen (Canadá) (1979)	55	↔ 49 ⇔		
C.S.T.C (Bélgica) Vercoza (1991)	46	15	22	17
C.B.E. Boletim 157 (1982)	50	↔ 40 ⇔		10
Faculdade de Engenharia da Fundação Armando Álvares Penteado Vercoza (1991)	18	6	52	24
B.R.E.A.S. (Reino Unido) (1972)	58	12	35	11
Bureau Securitas (1972)	↔ 88 ⇔			12
E.N.R. (U.S.A.) (1968-1978)	9	6	75	10
S.I.A. (Suíça) (1979)	46		44	10
Dov Kaminetzky (1991)	51	↔ 40 ⇔		16
Jean Blévoit (França) (1974)	35		65	
L.E.M.I.T (Venezuela) (1975)	19	5	57	19

Fonte: SOUZA e RIPPER, 1998.

**Tabela 2:** Gasto com reparo e manutenção em alguns países.

País	Gastos com construções novas	Gastos com manutenção e reparo	Gastos totais com construção
<b>França</b>	85,6 Bilhões de Euros (52%)	79,6 Bilhões de Euros (48%)	165,2 Bilhões de Euros (100%)
<b>Alemanha</b>	99,7 Bilhões de Euros (50%)	99,0 Bilhões de Euros (50%)	198,7 Bilhões de Euros (100%)
<b>Itália</b>	58,6 Bilhões de Euros (43%)	76,8 Bilhões de Euros (57%)	135,4 Bilhões de Euros (100%)
<b>Reino Unido</b>	60,7 Bilhões de Pounds (50%)	61,2 Bilhões de Pounds (50%)	121,9 Bilhões de Pounds (100%)

Fonte: adaptado pelo autor de MEDEIROS & HELENE, 2009

## 1.2 OBJETIVOS

### 1.2.1 Objetivos gerais

Este trabalho tem como objetivo principal a realização de um levantamento das manifestações patológicas que ocorrem em estruturas de concreto armado embasado no estudo de caso no Estádio de Múltiplo Uso Arena das Cavalhadas.

### 1.2.2 Objetivos específicos

- Tipificar algumas manifestações patológicas que ocorrem nas estruturas de concreto armado;
- Analisar as origens e causas que provocaram a principal manifestação patológica;
- Realizar o levantamento dessas manifestação patológicas no Estádio de Múltiplo Uso Arena das Cavalhadas em andamento com o tema deste trabalho.

## 1.3 DELIMITAÇÕES

Este trabalho se limita as amostras de patologias em concreto armado sendo considerada para a pesquisa as manifestação levantadas no Estádio da Arena das Cavalhadas.

Não é objetivo deste trabalho entrar no mérito da qualificação e da atuação dos profissionais e empresas que participaram dos projetos e execução destas obras, sendo o foco único o levantamento quantitativo das manifestações patológicas.

## 1.4 JUSTIFICATIVA AO ESTUDO DE CASO

Tendo em vista que a edificação em estudo foi construída há mais de 9 anos e que desde o momento de sua inauguração não foi efetuado nenhuma manutenção preventiva adequada, a edificação acarretou inúmeros problemas em suas estruturas.

A importância da realização deste trabalho se deve a necessidade de salientar problemas na execução da obra que acarreta diminuição da segurança, mostrando as anomalias estruturais, o qual os resultados podem ser negativos para aqueles que ali transitam.

## 1.5 EDIFICAÇÃO EM ESTUDO

O Estádio de Múltiplo Uso ou Cavalhódromo, em Pirenópolis, foi inaugurado parcialmente no dia 30 de março de 2006, com objetivo de abrigar atividades culturais e esportivas variadas e servir de palco para as Cavalhadas, uma das mais tradicionais festas do Estado.

Com o terreno de 16,76 mil metros quadrados e área construída de 6,99 mil metros quadrados, o local tem cinco pavimentos, com vestiários, bares, sanitários públicos, tribuna para autoridades e cabines de rádio. No primeiro andar há sala para exposições e feiras. No segundo pavimento, está a parte administrativa do Cavalhódromo. No complexo também estão espaços destinados à Associação das Cavalhadas e Secretaria de Esporte e Lazer. Há ainda sala de reuniões e vídeo, manutenção, copa, sala de imprensa e sala técnica, entre outras dependências (Figura 2).

**Figura 2:** Foto panorâmica do Estádio de Múltiplo Uso Arena das Cavalhadas.



**Fonte:** Autor, 2015.

No terceiro pavimento estão salão de exposições e recepções, enfermaria e posto policial. Com elevador, o prédio tem no quarto andar espaço para 103 cadeiras, camarotes, serviço de bar. O quinto piso possui seis cabines de rádio e televisão e sanitários. As arquibancadas do Cavalhódromo têm capacidade para duas mil pessoas, o camarote especial, 110 pessoas, camarotes das famílias, 107 lugares.

## 1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO

Esta monografia encontra-se dividida em quatro capítulos principais. O primeiro capítulo consta de uma introdução que procura contextualizar o problema citado, expor a razão, justificativa e motivação para realização da pesquisa, explanar os objetivos buscados ao

final deste trabalho, juntamente com suas delimitações e abordar, também, a estruturação do mesmo.

O segundo capítulo contém a revisão bibliográfica dos assuntos relacionados com a pesquisa, mostrando fatores que têm influência significativa na durabilidade das estruturas de concreto armado.

O terceiro capítulo apresenta as principais manifestações patológicas que ocorreram nas estruturas de concreto armado no Estádio de Múltiplo Uso Arena das Cavalhadas em estudo e analisa suas origens e causas mais incidentes.

No quarto capítulo, constam as conclusões sobre o levantamento realizado neste trabalho, bem como as recomendações para trabalhos posteriores, visando disponibilizar dados e ampliar o conteúdo da pesquisa para, assim, melhorar e fomentar o estudo acerca das manifestações patológicas nas edificações.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Ferreira (2000) afirma que concretos executados há mais tempo, em geral, têm durabilidade superior aos executados recentemente. Durante os anos 60, para se produzir um concreto com resistência à compressão de 30 MPa era necessário um consumo de cimento muito alto, entre 400 a 500 kg/m<sup>3</sup>. Com o crescimento da atividade de construir a partir da década de 70 e o surgimento da indústria do concreto pré-misturado, verificou-se uma otimização nos traços dos concretos, procurando-se atingir concretos mais resistentes com um teor de cimento cada vez menor.

De acordo com Cánovas (1988) uma obra, da mesma forma que um ser vivo, encontra-se submetido à ação de elementos tais como: calor, umidade, ventos, geadas etc., também tem que suportar ações de tipo mecânico que podem cansar, fadigar e inclusive ferir. Por conseguinte, dos cuidados e fiscalizações durante seu crescimento ou construção dependerá muito a vida da obra e não se deve pensar que terminam com a sua realização, é preciso continuar fazendo manutenção.

E ainda Ferreira (2000) completa que apesar de o concreto ser o material de construção mais consumido no planeta, o conhecimento das práticas construtivas adequadas não acompanharam o crescimento da atividade de construção, ocasionando diversos descuidos nas obras, e reduzindo a capacidade do concreto em manter sua integridade. A tecnologia de fabricação do concreto foi avançando, com a melhoria das propriedades dos aditivos, adições e ligantes, possibilitando uma redução significativa nas seções das peças de concreto armado em função do aumento das resistências mecânicas.

A Norma Brasileira (NBR) 6118 da Associação Brasileira de Normas Técnicas, (ABNT), (2007) afirma que as estruturas de concreto devem atender aos requisitos mínimos de qualidade durante sua construção e serviço, assim como aos requisitos adicionais estabelecidos entre o autor do projeto estrutural e o construtor. Os três requisitos mínimos de qualidade são a capacidade de resistência, que consiste na segurança da estrutura; o desempenho em serviço, que consiste na capacidade da estrutura manter-se em condições plenas de utilização, não devendo apresentar danos que comprometam, em parte ou totalmente, o uso para o qual foram projetadas e por último, porém não menos importante, a durabilidade, que é a capacidade da estrutura resistir às influências ambientais previstas e definidas no início dos trabalhos de elaboração do projeto.

Para Vasconcelos (2005) a execução das obras não acompanhou o avanço tecnológico. Para facilitar o lançamento do concreto em peças cada vez mais estreitas e mais armadas,

utilizou-se concretos mais fluidos e compostos com materiais mais finos, resultando em um produto final de qualidade inferior.

Segundo Helene (1992) *apud* Cavaco, (2008), embora o concreto possa ser considerado um material praticamente eterno, desde que receba manutenção sistemática e programada, há construções que apresentam manifestações patológicas em intensidade e incidência significativas, acarretando elevados custos para sua correção. Sempre há comprometimento dos aspectos estéticos e, na maioria das vezes, redução da capacidade resistente, podendo chegar, em certas situações, a colapso parcial ou total da estrutura.

Para Souza (1998) as causas da deterioração podem ser as mais diversas, desde o envelhecimento da estrutura até os acidentes, e até mesmo a irresponsabilidade de alguns profissionais que optam pela utilização de fora das especificações, na maioria das vezes por alegadas razões econômicas.

Para isto deve-se atuar em todas as fases: projeto, execução da obra, inspeção e manutenção. Além dos cuidados com a composição do traço do concreto, é necessário adotar procedimentos adequados para o lançamento, adensamento e cura do concreto. Mas o cuidado com a manutenção das obras acabadas é também muito importante.

## 2.1 ESTRUTURAS EM CONCRETO ARMADO

A NBR 6118 (ABNT, 2007) define como estruturas de concreto armado aquelas cujo comportamento estrutural depende da aderência entre o concreto e a armadura, e nas quais não se aplicam alongamentos iniciais das armaduras antes da materialização dessa aderência.

Clímaco (2005) diz que o uso do concreto armado pode ser considerado recente: as primeiras peças surgiram há pouco mais de 150 anos, porém seu emprego efetivo em construções com embasamento técnico e modelos de cálculo racionais, ocorre há menos de 100 anos. Desde então, tem sido, pelas suas vantagens, utilizado em larga escala pela indústria da construção.

Uma estrutura de concreto armado (lajes, vigas, vasos, bancos de jardim, entre outros.) é uma ligação solidária (fundida junta), de concreto (que nada mais é que uma pedra artificial composto por fragmentos de rocha, cimento e água), com uma estrutura resistente a tração que é usualmente o aço. (BOTELHO e MARCHETTI, 2003)

Para Clímaco (2005), o concreto armado é um material composto pela associação do concreto com barras de aço nele inseridas, de modo que estabeleçam um sólido único, do ponto de vista mecânico quando submetido às ações externas. Essa associação aproveita as

principais vantagens de ambos, concreto e aço, quanto à resistência, à durabilidade e ao custo, destacando-se a boa resistência à compressão do concreto e a elevada resistência a tração do aço.

Segundo Carvalho e Figueiredo (2011), o concreto armado apresenta vantagens e desvantagens quanto ao seu uso estrutural, as principais são expostas no Quadro 1:

**Quadro 1:** Vantagens e Desvantagens do Concreto Armado quanto ao seu uso estrutural.

Vantagens	Desvantagens
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Apresenta boa resistência à maioria das solicitações.</li> <li>• Tem boa trabalhabilidade, quando em estado fresco e, por isso, adapta-se a várias formas.</li> <li>• As técnicas de execução são razoavelmente dominadas em todo o país.</li> <li>• É um material durável, desde que seja bem executado.</li> <li>• Apresenta durabilidade e resistência ao fogo superiores em relação à madeira e ao aço, desde que os cobrimentos e a qualidade do concreto estejam de acordo com as condições do meio em que está inserida a estrutura.</li> <li>• É resistente a choques e vibrações, efeitos térmicos, atmosféricos e desgastes mecânicos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Resulta em elementos com maiores dimensões que o aço, o que, com seu peso específico elevado, ocasiona um peso próprio muito grande, limitando o seu uso em determinadas situações ou elevando bastante o seu custo.</li> <li>• As adaptações e reformas são, muitas vezes, de difícil execução.</li> <li>• É bom condutor de calor e som, determinando, em casos específicos, associação com outros materiais para sanar esses problemas.</li> <li>• É necessário um sistema de fôrmas e escoras, que, geralmente, precisa permanecer no local até que o concreto alcance resistência adequada.</li> </ul>

**Fonte:** adaptado pelo autor de CARVALHO e FIGUEIREDO, 2011.

Até o final da década de 80, a resistência à compressão ainda era, praticamente, o único parâmetro adotado para avaliar a qualidade do concreto. Em função disto, está ocorrendo uma degradação mais acelerada nas estruturas de concreto armado, obrigando a comunidade que trabalha com este material a definir novos parâmetros, de forma a garantir a sua performance (FERREIRA, 2000).

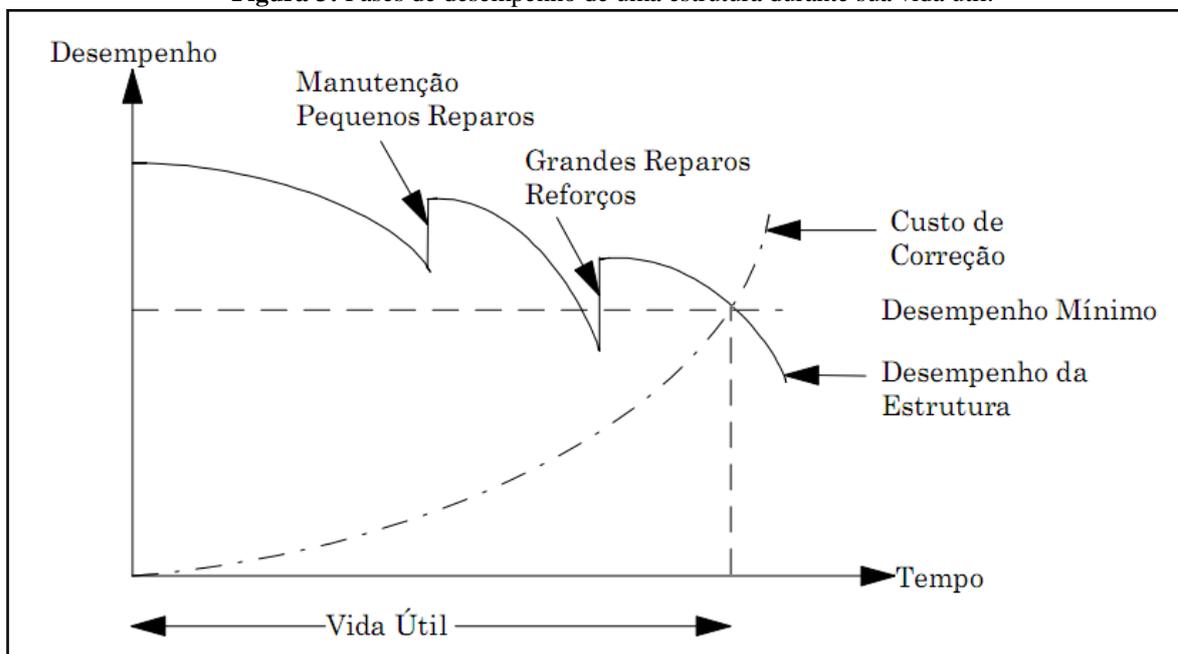
### 2.1.1 Vida útil e durabilidade

Muitos confundem os conceitos de durabilidade e vida útil.

De acordo com a NBR 6118 (ABNT, 2014), durabilidade é a capacidade da estrutura resistir às influências ambientais presumidas e definidas em conjunto com o autor do projeto e o contratante, no início dos trabalhos de elaboração dos projetos. Já vida útil, a norma define como sendo o período de tempo o qual se mantém as características das estruturas de concreto, desde que satisfeitos os requisitos de uso e manutenção prescritos pelo projetista e construtor, assim como de execução dos reparos decorrentes de danos acidentais.

Assim, considera-se que um material chegou ao fim de sua vida útil quando suas propriedades, sob dadas condições de uso, se deterioram a tal ponto que a continuação do uso desse material é considerada insegura ou antieconômica, logo, a durabilidade de uma estrutura pode ser representada pelo gráfico desempenho em relação ao tempo (ANDRADE, 1997). Vide Figura 3.

**Figura 3:** Fases de desempenho de uma estrutura durante sua vida útil.



Fonte: ANDRADE, 1997

Pode-se observar nesta figura que quando a estrutura começa a perder sua funcionalidade devido a algum tipo de deterioração, há uma necessidade da realização de reparos ou reforços. É notório, que à medida que os danos na estrutura evoluem, os custos para as correções crescem na mesma medida.

A durabilidade e a conseqüente previsão da vida útil das estruturas de concreto armado estão sendo objeto de muitas pesquisas em diversas instituições, tanto no Brasil como no exterior.

## 2.2 PATOLOGIAS DO CONCRETO ARMADO

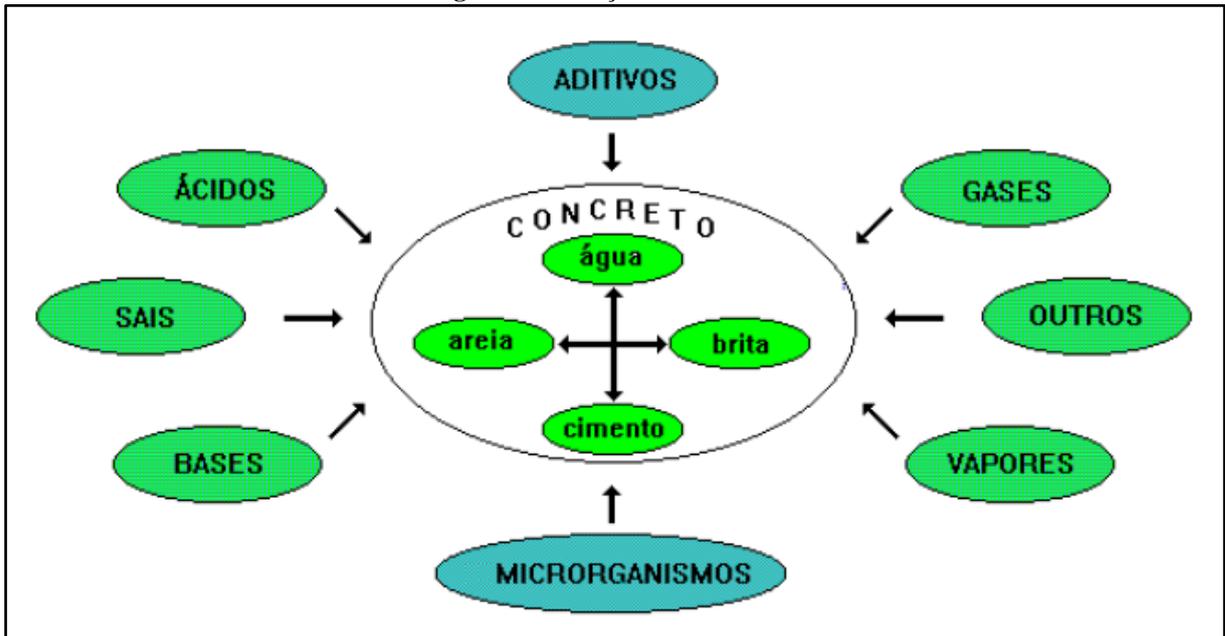
De acordo com Helene (1992) a patologia pode ser entendida como a parte da engenharia que estuda os sintomas, os mecanismos, as causas e origens dos defeitos das construções civis, ou seja, é o estudo das partes que compõem o diagnóstico do problema.

Andrade e Silva (2005) utiliza o termo patologia na engenharia civil quando ocorre perda ou queda de desempenho de um conjunto ou componente estrutural. O termo foi retirado da área da saúde e identifica o estudo das doenças, seus sintomas e natureza das modificações que elas provocam no organismo. Em uma estrutura, para que um sintoma, seja classificado como patológico, deve comprometer algumas das exigências da construção, seja ela de capacidade funcional, mecânica ou estética. Assim, observa-se que existe uma forte relação entre a manifestação patológica e o desempenho da edificação, na medida em que sua avaliação é relacionada com o comportamento da estrutura em utilização. Logo, a análise das manifestações patológicas é função também de dois aspectos fundamentais: tempo e condições de exposição, tornando-a, assim, associada aos conceitos de durabilidade, vida útil e desempenho.

E ainda Andrade e Silva (2005) completa que é importante destacar a diferença existente entre os conceitos de origem e causa da patologia. A origem do problema relaciona-se com as fases ou etapas da vida da estrutura em que se originou a patologia, sejam elas: de projeto, de materiais, de execução, de utilização e de manutenção. Já a causa é definida como qualquer fator que possa estar contribuindo para a ocorrência da patologia, como por exemplo: as causas mecânicas (impactos sobrecargas); as condições de exposição (ambiente marinho, área industrial); a qualidade dos materiais que constituem a estrutura e suas características (sílica reativa nos agregados, álcalis no cimento, cloreto nos aditivos); a espessura do cobrimento, entre outros fatores.

Piancastelli (1997) afirma que sendo o concreto armado, um material não inerte, ele está sujeito a alterações, ao longo do tempo, devido a interações entre os elementos que o constitui (cimento, areia, brita, água e aço), interações entre esses e agentes externos (ácidos, bases, sais, gases e outros) e com materiais que lhe são adicionados (aditivos e adições minerais), a Figura 4 esquematiza esta afirmação.

**Figura 4:** Interações no concreto.



Fonte: Adaptado pelo autor de Piancastelli, 1997.

Essas interações resultam anomalias, que, geralmente, comprometem o desempenho da estrutura, gerando efeitos indesejáveis aos usuários.

### 2.2.1 Origem da patologia nas estruturas de concreto armado

Para Ripper (1998), salvo os casos correspondentes à ocorrência de catástrofes naturais, em que a violência das solicitações, aliada ao caráter marcadamente imprevisível das mesmas, será o fator preponderante. Os problemas patológicos têm suas origens motivadas por falhas, que ocorrem durante a realização de uma ou mais, das atividades inerentes ao processo genérico, a que se denomina de construção civil, processo este que pode ser dividido, como já dito, em três etapas básicas: concepção, execução e utilização.

Estudos indicam que os problemas patológicos ocorrem, em aproximadamente 50% dos casos, por falhas de projeto e planejamento das edificações (FIGUEIREDO, 2006).

Segundo Aranha e Dal Molin (1994) *apud* Cavaco, (2008), as falhas de execução das estruturas podem ser de todo o tipo, podendo estar vinculadas à confecção, instalação e remoção das fôrmas e cimbramentos; corte, dobra e montagem das armaduras e dosagem, mistura, transporte, lançamento, adensamento e cura do concreto, todas elas relacionadas, principalmente, ao emprego de mão-de-obra desqualificada ou falta de supervisão técnica.

Em nível de qualidade, exige-se, para etapa de concepção, a garantia de plena satisfação do cliente, de facilidade de execução e de possibilidade de adequada manutenção; para etapa de execução, será de garantir o fiel atendimento ao projeto, e para a etapa de utilização, é necessário conferir a garantia de satisfação do utilizador e a possibilidade de extensão da vida útil da obra (SOUZA, 1998).

Botelho (1995), afirma que o surgimento de problema patológico em dada estrutura indica, em última instância e de maneira geral, a existência de uma ou mais falhas durante a execução de uma ou mais etapas da construção, além de apontar para falhas também no sistema de controle de qualidade própria a uma ou mais atividades.

### **2.2.2 Origem da patologia na etapa de projeto**

Um aspecto importante durante a produção é o projeto. Durante a produção que estabelece todos os recursos que serão utilizados para desenvolver o empreendimento. As principais causas dos problemas patológicos ou defeitos são apontados durante as falhas no projeto.

Segundo Helene (1992), as falhas originadas de um estudo preliminar deficiente, ou de anteprojetos equivocados, são responsáveis pelo encarecimento do processo de construção, ou por transtornos relacionados à utilização da obra, enquanto as falhas geradas durante a realização do projeto final de engenharia são as responsáveis pela implantação de problemas patológicos sérios e podem ser tão diversas como:

- Elementos de projeto inadequados: má definição das ações atuantes ou de combinação mais desfavorável, escolha infeliz de modelo analítico, deficiência no cálculo da estrutura ou na avaliação da resistência do solo, etc.;
- Detalhamento insuficiente ou com erros;
- Falta de padronização das representações (convenções);
- Erros de dimensionamento.
- Falta de compatibilização entre a estrutura e a arquitetura;
- Especificação inadequada de materiais;
- Detalhes construtivos inexecutáveis;

O projeto realiza um forte impacto na execução da obra, pois define partidos, detalhes construtivos e especificações que permite uma facilidade de construir e afetam os custos de

produção. É desenvolvendo o projeto que acontece a percepção do produto, que se baseia nas necessidades do cliente em se tratando de evolução e custo e da exposição que o empreendimento será submetido. Durante o projeto procura-se melhores soluções para o processo da construção e na maior qualidade do resultado final.

Portanto, a qualidade do projeto determinará a qualidade do produto e o nível de satisfação dos usuários.

Para se ter controle de qualidade do projeto é necessário que exista determinados critérios de referencia para implementar o controle. Tais critérios podem ser representados por levantamento de consumo, limites dimensionais, quantidade de elementos e componentes construtivos, tipos de elementos, materiais, normas e parâmetros de dimensionamentos, meio de execução e detalhes construtivos. Também critérios de apresentação dos projetos, que seja clara e detalhada, que especifique os documentos em cada parte do projeto e suas condições. Além desses critérios deve utilizar na execução dos projetos as normas técnicas existentes.

### **2.2.3 Origem da patologia na etapa de aquisição de materiais**

É importante que a caracterização dos materiais componentes do concreto esteja em conformidade com o que recomenda a NBR 12654 (ABNT, 1992). Definidas as especificações dos materiais na fase de projeto, deve-se controlar bem a aquisição dos insumos para fabricação do concreto, objetivando a garantia das especificações e que o concreto não seja rejeitado.

No cimento devem ser monitorados seus aspectos físicos, como finura, início e fim de pega, resistência à compressão, expansibilidade, calor de hidratação, assim como, também, seus aspectos químicos, como perda ao fogo e resíduo insolúvel, teores de aluminato tricálcio e de álcalis.

Andrade e Silva (2005) ressalta que para os agregados faz-se necessária a análise mineralógica e química do material, para detectar a presença de contaminantes reativos no agregado, cujas reações químicas com os álcalis do cimento podem ser bastante prejudicial ao concreto. Assim como, também, é importante atentar para as características físicas dos agregados, como a sua distribuição granulométrica e seu formato dos grãos, pois diferenças nessas propriedades podem levar a uma maior variabilidade nas propriedades do concreto fresco e endurecido.

A água também deve ser levada em consideração, pois aspectos como contaminação com cloretos, álcalis, sulfatos, teor do pH, entre outros fatores, podem prejudicar o desempenho do concreto ao longo do tempo.

Como se trata de concreto armado, é imprescindível controlar a armadura, assegurando o patamar de escoamento, o limite de resistência, o alongamento mínimo, as tolerâncias de desbitolamento e dobramento.

#### **2.2.4 Origem da patologia na etapa de execução**

A NBR 14931 (ABNT, 2004) define como execução da estrutura de concreto todas as atividades desenvolvidas na sua execução, sendo, nas fôrmas, armaduras, concretagem, cura e outras, bem como as relativas à inspeção e documentação de como construído, incluindo a análise do controle de resistência do concreto.

Para Ripper (1998) fazem-se necessárias duas observações. A primeira diz respeito ao critério de que só seja iniciada a etapa de execução após estar concluída a de concepção. Embora seja o lógico e o ideal, raramente ocorrememos em obras de maior porte, seja sendo prática comum, por exemplo, serem feitas adaptações, ou mesmo modificações, no projeto já durante a obra, sob a desculpa, normalmente não válida, de serem necessárias certas simplificações construtivas, que, na maioria dos casos, acabam por contribuir para a ocorrência de erros.

A segunda observação diz respeito ao processo industrial denominado de construção civil, completamente atípico quando se olha a atividade industrial, pois nesta os componentes passam pela linha de montagem e saem como produtos terminados. Enquanto na construção civil os componentes são empregados, em determinadas atividades, em locais de onde não mais sairão, exceção feitas às estruturas pré-fabricadas, que seguem o roteiro normal da produção industrial a menos da etapa de montagem final.

A NBR 12655 (ABNT, 2015) descreve como etapas de execução do concreto a seguinte seqüência:

- Caracterização dos materiais componentes do concreto, de acordo com a NBR 12654 (ABNT, 1992);
- Dosagem do concreto;
- Ajuste e comprovação do traço do concreto;
- Preparo do concreto;

No seguinte à execução do concreto, as principais fases relacionadas e critérios importantes a serem avaliados estão descritos:

- **Mistura:** Os componentes do concreto devem ser misturados até formar uma massa homogênea. É importante observar aspectos como a sequência de colocação dos materiais, o tempo de mistura, a correção da água arrastada pelos agregados e possíveis erros nas quantidades adicionadas dos materiais. Essa operação pode ser realizada em betoneiras ou em centrais dosadoras/misturadoras.
  
- **Transporte:** após preparada a massa de concreto, ela deve ser transferida do local da mistura até o local de lançamento. Esse transporte pode ser feito de forma simples, por meio de carros de mão, jericas, entre outros, sendo os principais problemas, a segregação do concreto no transporte, à perda do material e o tempo necessário para fornecê-lo as frentes de trabalho, comprometendo, assim, a qualidade e a produtividade do serviço. O transporte também pode ser realizado por caminhões betoneira, onde deve-se tomar cuidado com o tempo decorrido desde a saída do caminhão da usina até o descarregamento do concreto na obra, tempo este que deve ser ajustado de acordo com as características do concreto e as condições de temperatura, evitando a perda acentuada de abatimento.
  
- **Lançamento:** consiste na colocação do concreto para moldagem da peça, pode ser realizado com pás, carros de mão, ou bombas para alcançar grandes distâncias. No caso do uso de bombas é muito importante verificar o estado de conservação do equipamento utilizado, prevenindo, assim, possíveis problemas durante a concretagem. Outro aspecto importante a ser observado é a altura de lançamento do concreto, a concretagem de peças com altura superior a 2 metros deve ser realizada de forma cuidadosa, a fim de evitar a segregação dos agregados graúdos nas regiões inferiores da peça, originando bicheiras ou vazios.
  
- **Adensamento:** Trata-se da atividade de vibrar o concreto, em seu estado fresco, com o objetivo de retirar o ar aprisionado durante as etapas anteriores, proporcionando-lhe a máxima compactação. Falhas ocorridas durante essa etapa, como excesso ou deficiência de vibração, podem gerar problemas de exsudação, segregação ou bicheiras.

- Cura: É a atividade mediante a qual se mantêm o teor de umidade satisfatório, impedindo a evaporação de água da mistura, garantindo também, uma temperatura favorável ao concreto durante o processo de hidratação dos materiais aglomerantes, de modo que seja possível desenvolver as propriedades desejadas.

No caso das armações dos elementos estruturais, cuidados importantes estão relacionados com a correta disposição da ferragem, a conformidade da quantidade e diâmetro nominal das barras com o pedido no projeto estrutural, a correta execução do cobrimento da armadura, que servirá de proteção contra agentes de despassivação (cloretos e CO<sub>2</sub>), pois quanto maior o cobrimento e melhor a qualidade do concreto maior será o intervalo de tempo, caso agentes agressores incidam, para que esses cheguem à armadura acarretando o processo corrosivo na mesma.

De acordo com Calister (2002) vários problemas patológicos podem surgir em virtude do que já foi comentado. Uma fiscalização deficiente e um fraco comando de equipes, normalmente relacionados a uma baixa capacitação profissional do engenheiro e do mestre de obras, podem levar a graves erros em determinadas atividades, como a implantação da obra, formas, escoramento, posicionamento e qualidade de armaduras e a qualidade do concreto, desde o sua fabricação até a cura.

Botelho comenta o assunto afirmando:

[...] a ocorrência de problemas patológicos cuja origem está na etapa de execução é devida, basicamente, ao processo de produção que é em muito prejudicado por refletir de imediato os problemas socioeconômicos, que provocam baixa qualidade técnica dos trabalhadores menos qualificados, como os serventes e os meio-oficiais, e mesmo do pessoal com alguma qualificação profissional (BOTELHO 1996, p.43).

Assim, o não atendimento a esses critérios conduz à perda da capacidade resistente e, em casos de elementos vitais, como os pilares em uma edificação pode levar a estrutura ao colapso.

### **2.2.5 Origem da patologia na etapa de utilização da estrutura (manutenção)**

Mesmo quando acabadas as etapas de construção e execução, mesmo que essas tenham sido de qualidade adequada, as estruturas podem, apresentar problemas patológicos originados do erro de utilização ou da falta de um programa de manutenção adequado.

A eficiência relaciona-se tanto com as atividades de uso, como, por exemplo, garantir que não sejam ultrapassados os carregamentos previstos em projeto, quanto com as atividades de manutenção, já que o desempenho da estrutura tende a diminuir ao longo da sua vida útil. Depois de concluída a execução da estrutura, cabe ao seu usuário cuidar de utilizá-la da maneira mais eficiente, com o objetivo de manter as características originais ao longo de toda a sua vida útil. (ANDRADE e SILVA, 2005).

A NBR 5674 (ABNT, 1999) define manutenção como o conjunto de atividades a serem desempenhadas para conservar ou recuperar a capacidade funcional de uma edificação e de suas partes constituintes de forma a atender as necessidades e segurança dos usuários.

Segundo Souza e Ripper (1998), os problemas patológicos ocasionados por ausência de manutenção ou mesmo por manutenção inadequada, têm sua origem no desconhecimento técnico, na incompetência, no desleixo e em problemas econômicos.

## 2.3 FATORES DA DETERIORAÇÃO DAS ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO

### 2.3.1 Causas mecânicas e físicas

Causas mecânicas de deterioração do concreto: a ação de cargas excessivas e a erosão.

As cargas excessivas podem provocar fissuração excessiva, abrindo caminhos para que outras formas de deterioração se instalem. É importante então, que os projetistas certifiquem as cargas consideradas no dimensionamento da estrutura e que os usuários obedeçam às condições especificadas no projeto.

A erosão do concreto consiste no desgaste de sua camada superficial por atritamento, percussão, arranhamento ou por ação de águas em alta velocidade, tendo como principais causas a abrasão e a cavitação.

Segundo Souza e Ripper (1998), destacam-se como principais ações físicas consideradas agressoras às estruturas de concreto: as variações de temperatura; os movimentos que ocorrem na interface entre materiais submetidos à mesma variação de temperatura, mas com coeficientes de dilatação diferentes, gerando diferentes deformações, como é o caso de assentamento de alvenaria em peças de concreto e a ação da água nas suas diversas formas, geradoras das mais diferentes manifestações patológicas.

### 2.3.2 Causas Químicas

Para Brandão (1998), determinadas substâncias encontradas no meio ambiente penetram na massa de concreto endurecido e, sob condições de temperatura e umidade, provocam reações químicas com efeitos nocivos. Sendo o concreto um material com baixa resistência a esse tipo de ataque, as ações químicas acabam se tornando uma das principais causas de deterioração das estruturas.

Destaca-se a seguir as mais comuns causas químicas.

- Reação álcalis-agregados

Priszkulnik (2005) descreve a reação álcali-agregado como sendo um processo químico em que alguns constituintes mineralógicos do agregado reagem com hidróxidos alcalinos que estão dissolvidos na solução dos poros do concreto. O produto dessa reação é um gel higroscópico expansivo que provoca diversas manifestações patológicas no concreto como: expansões, fissuras, movimentações diferenciadas nas estruturas, exsudação de gel e redução da resistência à tração e à compressão.

- Ataques por cloretos

Figueiredo (2005) destaca que os cloretos são introduzidos no concreto de diversas formas, como: pelo uso de aditivos aceleradores de pega; através de impurezas presentes nos constituintes do concreto; no ambiente marinho, através da água salgada e da maresia e em etapas de processo industrial.

Para Souza e Ripper (1998), os cloretos podem ser adicionados involuntariamente ao concreto a partir do uso de aditivos aceleradores de pega, de águas e agregados contaminados, a partir de tratamentos de limpeza realizados com ácido muriático e podem também penetrar no concreto ao aproveitarem-se de sua estrutura porosa.

Perdrix (1992) afirma que os cloretos que permanecem dissolvidos na fase aquosa dos poros destroem de forma pontual a camada passivante provocando uma corrosão localizada que progride em profundidade podendo levar a ruptura das barras. Ainda segundo o autor, a quantidade média admissível de cloretos sem que causem a despassivação da armadura é em torno de 0,4% em relação à massa de cimento ou 0,05% a 1% em relação à massa de concreto.

- Ataque por sulfatos

Segundo a NBR 7211 (ABNT, 2009) em agregados provenientes de regiões litorâneas, ou extraídas de águas salobras ou então quando houver suspeita de contaminação natural (região onde ocorrem sulfatos naturais como a gipsita) ou industrial (água do lençol freático contaminada por efluentes industriais), os teores de cloretos e sulfatos não devem ultrapassar os limites estabelecidos na Tabela 3 a seguir.

**Tabela 3:** Limites máximos para a expansão devida a reação álcali-agregado e teores de cloretos e sulfatos presentes nos agregados.

Determinação	Método de ensaio	Limites
Reatividade álcali-agregado	ASTM C 1260	Expansão máxima de 0,10% aos 14 dias de cura agressiva
	ABNT NBR 9773 <sup>1)</sup>	Expansão máxima de 0,05% aos três meses
		Expansão máxima de 0,10% aos seis meses
Teor de cloretos <sup>2)</sup> (CL <sup>-</sup> )	ABNT NBR 9917 ABNT NBR 14832 <sup>3)</sup>	< 0,2% concreto simples
		< 0,1% concreto armado
		< 0,01% concreto protendido
Teor de sulfatos <sup>4)</sup> (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	ABNT NBR 9917	< 0,1%
<p>1) Ensaio facultativo, nos termos de 5.3.2.</p> <p>2) Agregados que excedam os limites estabelecidos para cloretos podem ser utilizados em concreto, desde que o teor total trazido ao concreto por todos os seus componentes (água, agregados, cimento, adições e aditivos químicos), verificado por ensaio realizado pelo método ABNT NBR 14832 (determinação no concreto) ou ASTM C 1218, não exceda os seguintes limites, dados em porcentagem sobre a massa de cimento:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>— concreto protendido ≤ 0,06%;</li> <li>— concreto armado exposto a cloretos nas condições de serviço da estrutura ≤ 0,15%;</li> <li>— concreto armado em condições de exposição não severas (seco ou protegido da umidade nas condições de serviço da estrutura) ≤ 0,40%;</li> <li>— outros tipos de construção com concreto armado ≤ 0,30%.</li> </ul> <p>3) O método da ABNT NBR 14832 estabelece como determinar o teor de cloretos em clínquer e cimento Portland. Neste caso específico, o método pode ser utilizado para o ensaio de agregados.</p> <p>4) Agregados que excedam o limite estabelecido para sulfatos podem ser utilizados em concreto, desde que o teor total trazido ao concreto por todos os seus componentes (água, agregados, cimento, adições e aditivos químicos) não exceda 0,2% ou que fique comprovado o uso no concreto de cimento Portland resistente a sulfatos conforme a ABNT NBR 5737.</p>		

Fonte: NBR 7211 (ABNT, 2009).

Para Brandão (1998), os sulfatos podem ser considerados elementos muito agressivos, entretanto quando sólidos esses sais não atacam o concreto. Mas, quando em solução, os sulfatos de cálcio, sódio, potássio, magnésio e amônia podem reagir com a pasta de cimento endurecida e levar à total desagregação do concreto.

Os produtos dessas reações, respectivamente, gesso e o sulfa-aluminato de cálcio, cristalizam-se com a água num processo acompanhado por aumento de volume. O ataque é devido às reações dos sulfatos com o hidróxido de cálcio livre e com os aluminatos de cálcio hidratados, resultantes da hidratação do cimento.. Essa expansão é seguida de fissuração progressiva de configuração irregular o que facilita o acesso de novas soluções de sulfato.

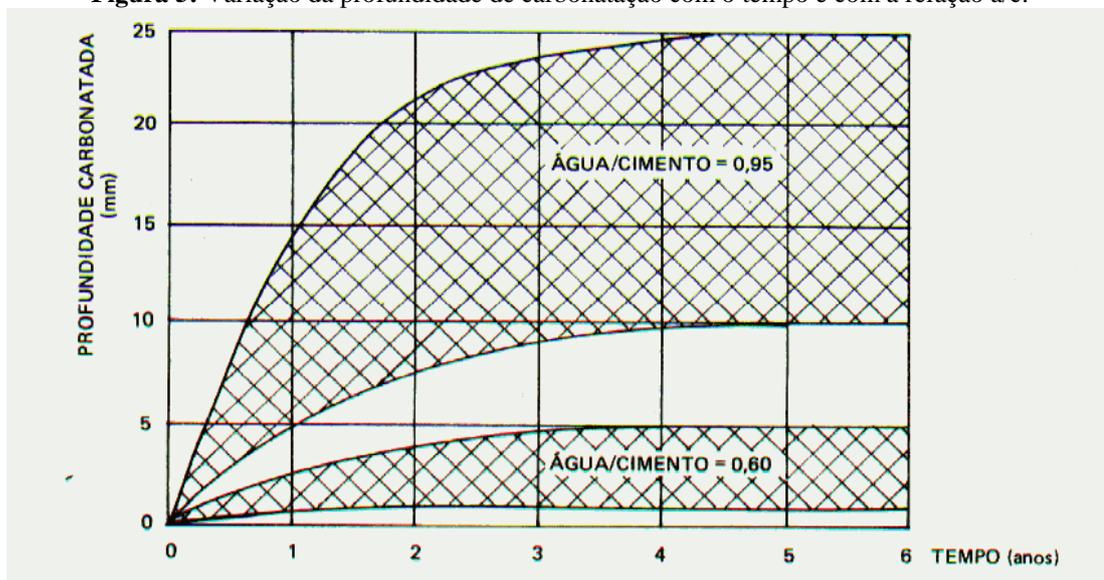
- Carbonatação

Entre as principais substâncias nocivas às estruturas de concreto armado destaca-se o dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), que leva ao processo de carbonatação do concreto e a conseqüente corrosão das armaduras.

Por meio da reação do  $\text{CO}_2$ , principalmente em centros urbanos e áreas industrializadas, com os compostos hidratados do cimento, principalmente o  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  - hidróxido de cálcio, forma-se  $\text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{O}$  (carbonato de cálcio e água), o que implica a carbonatação do concreto, ou seja, com essas reações o pH do concreto baixa, alterando a estabilidade da película de passivação do aço, favorecendo o início da corrosão das armaduras.

A velocidade e a profundidade de carbonatação variam de acordo com a exposição da estrutura ao meio ambiente, com a concentração de  $\text{CO}_2$  na região, com a umidade e temperatura do meio e com a qualidade do concreto. A figura 5 mostra a variação da profundidade de carbonatação em relação ao tempo e em relação água/cimento (a/c).

**Figura 5:** Variação da profundidade de carbonatação com o tempo e com a relação a/c.



Fonte: SORETZ, *apud* HELENE, 1992.

### 2.3.3 Causas biológicas

Alguns exemplos de agentes biológicos causadores da deterioração e da desagregação do concreto são o crescimento de vegetação nas estruturas, em que as raízes penetram principalmente através de pequenas falhas de concretagem, ou pelas fissuras e juntas de dilatação, e o desenvolvimento de organismos e microorganismos em certas partes da estrutura.

### 2.3.4 Local da estrutura

A NBR 6118 (ABNT, 2014) destaca que a agressividade do meio ambiente está relacionada às ações físicas e químicas que atuam sobre as estruturas de concreto. Nos projetos das estruturas correntes, a agressividade ambiental deve ser classificada de acordo com o apresentado no Quadro 2 a seguir, podendo ser avaliada segundo as condições de exposição da estrutura ou de suas partes.

**Quadro 2:** Classe de agressividade ambiental.

Classe de agressividade ambiental	Agressividade	Classificação geral do tipo de ambiente para efeito de projeto	Risco de deterioração da estrutura
I	Fraca	Rural	Insignificante
		Submersa	
II	Moderada	Urbana <sup>1), 2)</sup>	Pequeno
III	Forte	Marinha <sup>1)</sup>	Grande
		Industrial <sup>1), 2)</sup>	
IV	Muito forte	Industrial <sup>1), 3)</sup>	Elevado
		Respingos de maré	

<sup>1)</sup> Pode-se admitir um microclima com uma classe de agressividade mais branda (um nível acima) para ambientes internos secos (salas, dormitórios, banheiros, cozinhas e áreas de serviço de apartamentos residenciais e conjuntos comerciais ou ambientes com concreto revestido com argamassa e pintura).

<sup>2)</sup> Pode-se admitir uma classe de agressividade mais branda (um nível acima) em: obras em regiões de clima seco, com umidade relativa do ar menor ou igual a 65%, partes da estrutura protegidas de chuva em ambientes predominantemente secos, ou regiões onde chove raramente.

<sup>3)</sup> Ambientes quimicamente agressivos, tanques industriais, galvanoplastia, branqueamento em indústrias de celulose e papel, armazéns de fertilizantes, indústrias químicas.

**Fonte:** NBR 6118 (ABNT, 2014).

Para Lima (2005) como as estruturas estão inseridas em diversos ambientes, esses devem ser analisados, com o objetivo, de que, na fase de projeto da estrutura, todas as ações de degradação sejam previstas.

Helene (1986) dividiu os ambientes nos quais as estruturas estão inseridas em urbano, salino, diferenciados e industriais. O ambiente urbano caracteriza-se por uma concentração populacional que ocasiona diversas alterações no meio ambiente, pois para atender as necessidades humanas são necessárias diversas atividades, que aos poucos vão alterando todo o sistema natural provocando prejuízos ao próprio homem. É caso, por exemplo, da chuva ácida, do lançamento de dióxido de carbono na atmosfera, fator determinante para a carbonatação, e da alteração no regime dos ventos intensificando chuvas dirigidas.

### **3 LEVANTAMENTO DE MANIFESTAÇÕES PATÓLOGICAS NAS ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO EMBASADO NO ESTUDO DE CASO**

Destaca-se a seguir as manifestações patológicas mais frequentes nas estruturas de concreto armado e levantadas no estudo de caso.

#### **3.1 FISSURAS**

São aberturas que afetam a superfície do elemento estrutural tornando-se um caminho rápido para a entrada de agentes agressivos à estrutura, conforme pode-se observar nas figuras a seguir.

As fissuras são manifestações patológicas frequentes nas estruturas de concreto. Quando estas aparecem servem para chamar a atenção dos usuários para o fato de que algo anormal está a acontecer. É necessário observar corretamente o quadro de fissuração, já que ele pode ser provocado pelos mais diversos fatores, como por exemplo: reações expansivas ocasionadas por agentes externos que penetram na estrutura, como cloretos, dióxidos de carbono e outros compostos, recalques diferenciais, a cura imprópria do concreto e a não previsão adequada do comportamento da estrutura.

Para Souza e Ripper (1998) um processo de fissuração, pode instalar-se em uma estrutura pelas mais diversas causas, e para que se consiga identificar com precisão a causa e a origem, é necessário desenvolver análises consistentes, que englobem a mais correta determinação da configuração das fissuras, tais como a sua abertura e a sua variação ao longo do tempo, podendo, assim, logo após a correta identificação estabelecer as metodologias e procedimentos adequados para os trabalhos de recuperação.

Segundo Rodrigues (2001), na época do ano em que a temperatura ambiente mantém-se elevada, é frequente o aparecimento de fissuras ou trincas no concreto.

Paulon (2005), afirma que as práticas modernas de construção, com exigências de altas resistências iniciais, desforma em pequenas idades, concretos bombeados e outras, tornaram a trinca ou fissura ainda mais frequente.

Helene (2003) comenta que ocorriam menos trincas na época em que se usavam concretos com menores consumos de cimento, abatimentos menores e empregava-se mais tempo no adensamento e acabamento durante uma concretagem.

**Figura 6:** Fissuras na passarela de pedestres do Estádio.



Fonte: Autor, 2015.

A Figura 6 verifica fissuras apresentadas na passarela de pedestres da entrada principal do Estádio. Estas fissuras estão presentes em toda a area da passarela, umas com fissurações maiores que outras.

É certo que seja quase impossível executar um concreto totalmente livre de algum tipo de fissura, mas existem medidas para reduzir sua ocorrência ao mínimo possível.

Entretanto, segundo Mehta e Monteiro (1994), é interessante observar que, no entanto, a caracterização da fissuração como deficiência estrutural dependerá sempre da origem, intensidade e magnitude do quadro de fissuração existente, posto que o concreto, por ser material com baixa resistência à tração, fissurará por natureza, sempre que as tensões trativas, que podem ser instalados pelos mais diversos motivos, superarem a sua resistência última à tração.

Na Figura 7 é verificada uma fissuração no pilar de sustentação da passarela destinada às pessoas com limitações físicas. Devido aos desgastes nesta passarela, atualmente ela se encontra interdita.

Pela natureza das estruturas de concreto armado, o aparecimento de fissuras é sinal de que foi excedida a resistência à tração do material e permite investigar, em função de sua tipologia, a origem dos problemas que afetam a estrutura.

**Figura 7:** Detalhe de fissuração do pilar da escada destinada à pessoas com limitações físicas.



**Fonte:** Autor, 2015.

Por exemplo, nos pilares aparecem fissuras verticais ou ligeiramente inclinadas, se durante a execução ocorreu má colocação, insuficiência e deslocamento dos estribos. Estas fissuras são, neste caso, um sintoma bastante perigoso. Na Figura 8, detalha um dos pilares estruturais do Estádio que sustenta a arquibancada.

Também nas laterais da arquibancada apresenta fissuras que podem ocasionar degregação do concreto da estrutura, como pode ser vista na Figura 9.

De forma geral, os recalques nos pilares geram fissuras de abertura variável nas vigas ligadas a eles, sendo estas aberturas maiores na parte superior das vigas. As fissuras decorrentes dos recalques dependem da magnitude destes.

Souza (1998) e Figueiredo (2006), afirmam que as fissuras por recalque serão ainda mais significativas quando as armaduras forem deficientes ou mesmo quando estas estiverem mal posicionadas no elemento.

No piso superior da arquibancada, no ponto mais alto, foi verificada em toda a área concretada fissuras em larga escala em toda a superfície, como pode ser visto na Figura 10.

**Figura 8:** Detalhe do pilar de sustentação da arquibancada do Estádio.



Fonte: Autor, 2015.

**Figura 9:** Detalhes de fissuras nas laterais da arquibancada.



Fonte: Autor, 2015.

**Figura 10:** Fissuras verificadas no piso superior da arquibancada.



**Fonte:** Autor, 2015.

E em se tratando dos recalques de fundação que ocasionam as fissuras, na Figura 11, Figura 12, Figura 13, Figura 14, Figura 15 e Figura 16, fora observado recalque elevado na continuação da passarela usada pra dar acesso ao outro lado do estádio.

Foi observado também que neste mesmo local fora feito reforços estruturais e superficiais devido a desgastes maiores ocasionados anteriormente. Pelo fato do alto índice de usuarios do estádio a passarela aparenta ter sua capacidade esgotada

**Figura 11:** Passarela de acesso ao outro lado do estádio apresentando fissuras.



**Fonte:** Autor, 2015.

**Figura 12:** Detalhes das fissuras na passarela.



**Fonte:** Autor, 2015.

**Figura 13:** Recalque ocasionado na estrutura.



**Fonte:** Autor, 2015.

**Figura 14:** Detalhe da dimensão do recalque.



**Fonte:** Autor, 2015.

**Figura 15:** Fissuras nas escadas de ambas as entradas ocasionadas por recalque.



**Fonte:** Autor, 2015.

Para Souza e Ripper (1998), as fissuras podem ser consideradas como a manifestação patológica característica das estruturas de concreto, sendo mesmo o dano de ocorrência mais comum e aquele que, a par das deformações muito acentuadas, mais chama a atenção dos leigos, proprietários e usuários aí incluídos, para o fato de que algo de anormal está a acontecer.

De acordo com Souza (1998) os diversos processos de fissuramento que possam resultar de ações aplicadas localizadamente e passam tanto por choques de veículos pesados como por introdução de esforços de proteção, ou ainda pela carga de vigas ou pilares, considerada como cargas concentradas. Como por exemplo na Figura 17.

Na passarela da entrada principal foram colocadas chapas metálicas após uma parte ser desgredada por fissuras na estrutura, a finalidade dessas chapas foi pra aumentar a via de acesso e reforçar a capacidade de carga. Pode ser visto na Figura 18 que por baixo se trata de um reforço metálico e por cima foram colocadas ripas de madeira.

**Figura 16:** Fissuras causadas por recalque na fundação.



**Fonte:** Autor, 2015.

**Figura 17:** Viga fissurada por cargas concentradas.



**Fonte:** Autor, 2015.

**Figura 18:** Reforço da passarela de pedestre com chapas metálicas.



**Fonte:** Autor, 2015.

### 3.2 CORROSÃO DAS ARMADURAS

Para Helene (1986), corrosão é uma interação destrutiva de um material com o ambiente, seja por reação química, ou eletroquímica.

Cascudo (1995) tem uma definição semelhante à anterior e define corrosão de elementos metálicos como sendo a alteração de um metal em íon metálico pela sua alteração química ou eletroquímica com o meio ambiente.

Para Bauer (1994), a corrosão é transformação não intencional de um metal, a partir de suas superfícies expostas, em compostos não aderentes, solúveis ou dispersíveis no ambiente em que o metal se encontra.

Cascudo (2005) afirma que partindo do exposto, pode-se definir a corrosão das armaduras nas estruturas de concreto armado, como sendo um processo de deterioração da fase metálica existente, que conseqüentemente provoca a perda de seção das barras de aço e concomitante a esta perda de seção formam-se produtos de corrosão de caráter expansivo, geralmente no entorno das armaduras, que vão se acumulando e gerando tensões internas não previstas em projeto as quais acabam fissurando o concreto e sequencialmente lascando-o e

destacando-o, deixando, assim, a armadura totalmente exposta aos seus agentes agressores, o que acelera ainda mais o processo corrosivo, conforme pode ser observado nas Figura 19, Figura 20 e Figura 21.

É importante frisar que a corrosão é um processo evolutivo, o qual, com o passar do tempo vai se agravando. Logo, situações as quais medidas de segurança são tomadas tardiamente podem comprometer a segurança estrutural.

**Figura 19:** Corrosão das armaduras da parte inferior da laje da escada de entrada.



**Fonte:** Autor, 2015.

Segundo Andrade (1992), nos casos das barras de aço imersas no meio do concreto a deterioração das armaduras de aço, é caracterizada pela destruição da película passivante existente ao redor de toda a superfície exterior das barras. Esta película é formada como resultado do impedimento da dissolução do ferro pela elevada alcalinidade da solução aquosa que existe no concreto.

De acordo com Neville (1997) ao produzir-se por efeito da corrosão óxido expansivo com o aumento do volume de 8 a 10 vezes o volume original, criam-se fortes tensões no concreto, que fazem com que este se rompa por tração, apresentando fissuras que seguem as linhas das armaduras principais, e inclusive dos estribos, se a corrosão foi muito intensa.

**Figura 20:** Corrosão das armaduras na sustentação da escada.



Fonte: Autor, 2015.

**Figura 21:** Corrosão das armaduras da laje da passarela de pedestres.



Fonte: Autor, 2015.

Cascudo (2005), afirma que configurando o ambiente para a convivência salutar entre as barras de aço e o meio de concreto resta indicar se o mecanismo de desativação, ou seja, de geração de corrosão, por destruição da camada óxida de revestimento protetor das barras:

- corrosão por tensão fraturante: é o caso dos aços que são submetidos a grandes esforços mecânicos (protensão) e que, em presença do meio agressivo, podem sofrer fratura frágil, resultando na perda de condição para a sua utilização;
- corrosão pela presença de hidrogênio atômico, que fragiliza e fratura os aços;
- corrosão por pite, que pode revelar-se segundo duas formas:
  - localizada: caracterizada pela ação de íons agressivos (cloretos, em especial), sempre que haja umidade e presença de oxigênio;
  - generalizada, função da redução do pH do concreto para valores inferiores a 9, pela ação dissolvente CO<sub>2</sub> existente no ar atmosférico - transportado através dos poros e fissuras do concreto sobre o cimento hidratado, é a chamada carbonatação.

Para Cánovas (1988) aspectos como o controle da porosidade e da permeabilidade do concreto, a manutenção da peça sob estado de tensões de serviço dentro dos limites estabelecidos regularmente. A escolha correta das bitolas das barras da armadura principal, o bom detalhamento, a cuidadosa execução das peças, e a proteção adicional das superfícies do concreto por pintura surgem como fatores primordiais e de cuja observância dependerá a redução, ou não da possibilidade da ocorrência de corrosão nas barras da armadura.

### 3.3 DESAGREGAÇÃO E SEGREGAÇÃO DO CONCRETO, INFILTRAÇÕES, EFLORESCÊNCIAS E DEFORMAÇÕES

A desagregação é a perda de massa de concreto devido a um ataque químico expansivo de produtos inerentes ao concreto e/ou devido à baixa resistência do mesmo, caracterizando-se por agregados soltos ou de fácil remoção, conforme apresentado. Já a eflorescência é a formação de depósitos salinos na superfície do concreto, resultante da água de infiltrações ou intempéries. Esses sais constituintes podem ser agressivos e causar desagregação profunda, além da modificação do aspecto visual na estrutura, pois há um contraste de cor entre os sais e o substrato sobre os quais se depositam, conforme pode-se observar na Figura 22 e Figura 23.

**Figura 22:** Desagregação ocasionada por infiltração na laje do segundo andar do estádio.



Fonte: Autor, 2015.

**Figura 23:** Desagregação no pilar estrutural da arquibancada.



Fonte: Autor, 2015.

A desagregação do material é um fenômeno que frequentemente pode ser observado nas estruturas de concreto, causado pelos mais diversos fatores, ocorrendo, na maioria dos

casos, em conjunto com a fissuração. Consiste na perda de massa de concreto devido a um ataque químico expansivo de produtos inerentes ao concreto e/ou devido à baixa resistência do mesmo, caracterizando-se por agregados soltos ou de fácil remoção.

As eflorescências são manchas de coloração normalmente brancas que surgem freqüentemente no concreto e ocorrem devido ao “acúmulo de solução saturada de hidróxido de cálcio na superfície do concreto”, Helene (2003), podendo ainda formar estalactites nas zonas de maior porosidade do concreto. Observe a Figura 24 e Figura 25 a seguir:

**Figura 24:** Eflorescências ocorridas na laje da passarela de pedestres.



**Fonte:** Autor, 2015.

Os danos das infiltrações está associado, principalmente, a problemas de projeto (concepção arquitetônica e instalações) e a falta ou deficiência de manutenção. Veja Figura 26.

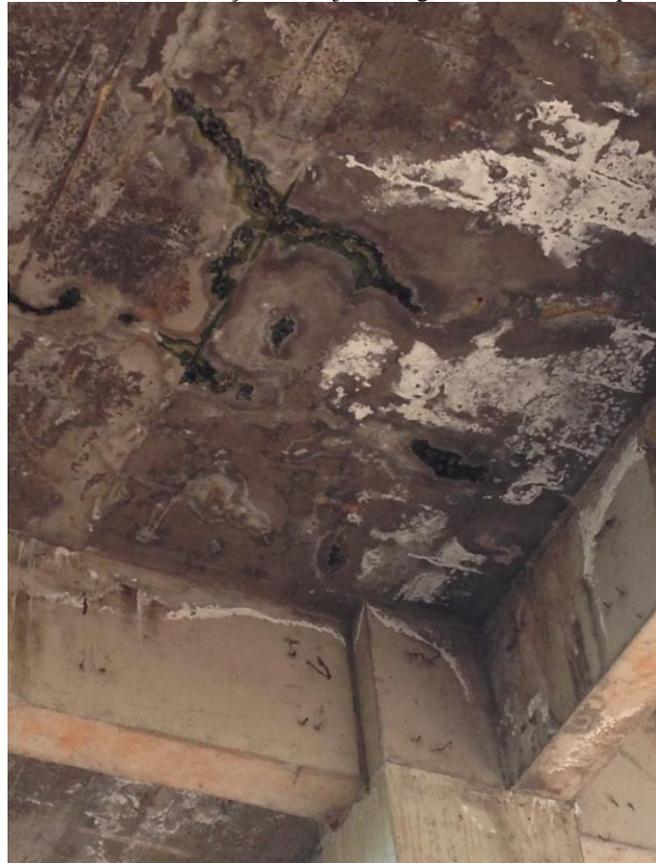
As segregações no concreto têm como aspectos gerais: vazios na massa de concreto; agregados sem o envolvimento da argamassa e concreto sem homogeneidade dos componentes. Sendo as suas prováveis causas a baixa trabalhabilidade do concreto, a deficiência no transporte, lançamento e adensamento do concreto e a alta densidade de armaduras. Ou seja, é uma manifestação que está intimamente ligada à execução e supervisão inadequada da concretagem. Observe a Figura 27, Figura 28 e Figura 29.

**Figura 25:** Eflorescências e danos de infiltrações.



**Fonte:** Autor, 2015.

**Figura 26:** Danos de infiltrações na laje do segundo andar da arquibancada.



**Fonte:** Autor, 2015.

**Figura 27:**Segregação no pilar estrutural da arquibancada.



**Fonte:** Autor, 2015.

**Figura 28:**Segregação ocasionada em outro pilar da estrutura.



**Fonte:** Autor, 2015.

**Figura 29:** Desagregação e segregação ocasionada nas passarelas de pedestres.



**Fonte:** Autor, 2015.

As manchas na superfície do concreto alteram a sua textura e uniformidade de coloração causando prejuízos estéticos e podendo gerar a instalação de problemas patológicos mais sérios. Os principais fatores que provocam as manchas superficiais são: deficiência dos dispositivos de drenagem; deficiência da vedação nas juntas; degradação química do concreto. Conforme a Figura 30.

A situação de infiltração e umidade na estrutura é um forte estimulador para que microorganismos se proliferem na mesma, implicando no surgimento de manchas esverdeadas denominadas bolor (fungos), no levantamento feito no estádio apresentaram essa manifestação. Esse problema é agravado principalmente pela falta de manutenção nas estruturas. Observe a Figura 31, a Figura 32 e Figura 33.

A ocorrência de deformações excessivas é resultado, de um ou mais dos fatores: problemas de projeto (concepção e/ou detalhamento), mau posicionamento das armaduras na execução e má utilização da estrutura, no que se refere à ação de sobrecarga superior ou incompatível com aquela prevista em projeto. Conforme a Figura 34.

**Figura 30:** Manchas na superfície do concreto.



**Fonte:** Autor, 2015.

**Figura 31:** Infiltrações ocorridas na laje da arquibancada, com degregação de concreto.



**Fonte:** Autor, 2015.

**Figura 32:** Detalhamento da região mais afetada por danos das infiltrações.



**Fonte:** Autor, 2015.

**Figura 33:** Danos de infiltrações na parte interna do estádio, nas áreas de convivência.



**Fonte:** Autor, 2015.

**Figura 34:** Deformações no pilar de sustentação da escada.



**Fonte:** Autor, 2015.

Analisando-se os dados de levantamento das manifestações patológicas nas estruturas de concreto armado feitos, elenca-se as manifestações mais incidentes nesse estudo:

- Fissuras;
- Infiltrações;
- Corrosão de armaduras;
- Desagregação;
- Segregação;
- Manchamento superficial;
- Deformações excessivas;
- Eflorescência;
- Fungos.

### 3.4 RECOMENDAÇÕES

Baseados nas pesquisas bibliográficas realizadas, em conhecimento adquirido no curso realizado e em sugestões com profissionais atuantes no mercado e que passaram por alguma experiência com as manifestações patológicas nas estruturas de concreto, elencamos algumas

recomendações que podem proporcionar significativa melhora na durabilidade das estruturas de concreto armado.

- É imprescindível a participação do calculista estrutural a partir da execução do projeto arquitetônico básico e estudo de viabilidade;
- É necessária a definição da metodologia construtiva e a adoção de procedimentos interativos de revisão de projeto estrutural com papel fundamental para o ATO (Acompanhamento Técnico da Obra), ligado diretamente ao projetista;
- Projetos com detalhamentos claros e abrangentes que permitam a correta interpretação em tempo de execução;
- Definição dos limites de deformação, prevendo reforços para as deformações prováveis;
- Especificação dos materiais e ensaios necessários para previsão de vida útil da estrutura de concreto;
- Indicação em projeto, para os prazos de retirada de fôrmas e escoramentos em função das características do concreto e esforços previstos.
- Verificar que os projetos atendam a NBR-6118 (ABNT, 2007);
- Realizar ensaios recomendados pelas normas técnicas brasileiras e proceder controles rigorosos na qualidade dos materiais utilizados na obra;
- Seguir os prazos determinados em projeto para a retirada de fôrmas e escoramentos das estruturas;
- Verificar o cobrimento mínimo das armaduras em projeto;
- Executar corretamente o adensamento e a cura do concreto conforme especificações do projeto;
- Controlar a altura máxima de lançamento do concreto;
- Verificar a correta armação da ferragem e a vedação das fôrmas;
- Utilizar espaçadores adequados e com resistência igual ou superior a do concreto utilizado;
- Controlar o traço adequado e o fator água/cimento determinado em projeto;
- Utilizar sempre que possível aditivos redutores de permeabilidade e controle de retração, principalmente para estruturas de concreto em ambientes agressivos.

### 3.5 INSPEÇÃO E DIAGNÓSTICO DE MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO

Para Souza e Ripper (1998) ao se constatar que uma estrutura de concreto armado apresenta problemas patológicos, torna-se necessário realizar uma vistoria detalhada e cuidadosamente planejada para que se possa determinar as reais condições da estrutura, de forma a avaliar as anomalias existentes, suas causas, providências a serem tomadas e métodos a serem adotados para a recuperação ou reforço.

De acordo com Andrade e Silva (2005) a metodologia genérica para a inspeção de estruturas convencionais pode ser dividida em três etapas básicas: levantamento de dados, análise e diagnóstico.

A etapa de levantamento de dados fornecerá os subsídios necessários para que a análise possa ser realizada de forma correta, consistindo nos seguintes passos:

- Classificação do meio ambiente;
- Levantamento visual e medições expeditas da estrutura;
- Estimativa das possíveis conseqüências dos danos e, caso necessário, medidas emergências devem ser tomadas, como, por exemplo, o escoramento de parte ou do todo da estrutura;
- Levantamento detalhado dos sintomas patológicos (documentação fotográfica, avaliação da presença de agentes agressores, medidas de deformações, medidas de perda de seção de armadura, entre outros);
- Identificação de erros quanto à concepção da estrutura (projeto), à sua execução, ou ainda quanto a sua utilização e manutenção;
- Instrumentação da estrutura e realização de ensaios laboratoriais.

A segunda etapa, análise dos dados, tem como objetivo conduzir o analista da estrutura a um perfeito entendimento da mesma e de como surgiram e se desenvolveram os sintomas patológicos. Esta etapa deve ser feita de forma minuciosa, evitando, por exemplo, que anomalias mais graves não sejam percebidas por estarem ocultas por anomalias superficiais.

A última etapa, o diagnóstico, só poderá ser efetuada após a conclusão das etapas de levantamento e análise. Devem-se investigar as causas da patologia, realizando um diagnóstico preciso para que a recuperação seja efetiva. É importante investigar cuidadosamente a patologia e suas possíveis causas, pois ao se falhar no seu diagnóstico, a correção não será eficiente. Uma patologia pode se apresentar como conseqüência de mais de

uma deficiência. Assim, para que a medida corretiva seja eficiente devem-se sanar todas as suas causas.

E ainda completa, cabe ressaltar que o tratamento de qualquer patologia requer um cuidado muito maior do que o adotado no processo executivo. Por essa razão, ressalta-se novamente que prevenir é melhor, e menos oneroso, que remediar, ou seja, o exercício correto da cidadania, com responsabilidade social, que conduz à boa prática da engenharia, coroada pelo controle tecnológico e de qualidade adequado, economiza tempo, dinheiro e respeita o ser humano.

## 4 CONCLUSÕES

Atualmente, por diversas causas, o estudo com a temática patologia na construção civil vem crescendo bastante. Tudo porque há pouco tempo atrás pensavam que as estruturas de concreto durariam por tempo indeterminado. E hoje já está provado que isto não é verídico.

Para atingir uma vida útil, toda estrutura, para a finalidade em que foi projetada, necessita de manutenção. Há algumas décadas, as estruturas era superdimensionadas, e podiam resistir durante anos às agressões sem colocar em risco sua integridade. Hoje, as estruturas, pode serem dimensionadas com critérios arrojados e mais precisos, através de métodos tecnológicos avançados, são mais esbeltas, exigindo muito mais cuidados.

O aspecto mais carente nas construções é justamente a manutenção, ainda mais em obras públicas, onde normalmente o governo não tem verba destinada para tal, fazendo com que muitas construções sejam utilizadas das mais diversas formas possíveis.

A saúde de um estrutura de concreto armado deve passar por um projeto bem fundamentado, uma execução cuidadosa e uma manutenção criteriosa.

Em nossas pesquisas, pudemos verificar a existência de muitos artigos sobre o assunto. A própria norma brasileira é bastante clara, abrangente e determina padrões e regras a serem seguidas, baseadas em muito estudo ao longo de mais de um século de uso do concreto como elemento estrutural.

Capacidade técnica e conhecimento das causas e efeitos não têm sido suficientes para impedir o surgimento de manifestações patológicas nas estruturas de concreto armado. Certamente devido ao fato de exigências de redução de custos e prazos de execução das obras, aliados a baixa qualidade e vícios de mão de obra barata.

Este estudo levantou casos de deterioração ocorridas, após nove anos de sua inauguração, no Estádio de Múltiplo Uso Arena das Cavalhadas. O levantamento referiu-se apenas a esta construção que é de responsabilidade pública, apesar de, provavelmente, não ser muito diferente a situação das obras públicas e particulares no restante do estado e do país.

Vale ressaltar que este levantamento não pode ser tido como absoluto. As informação obtidas poderia ser oportuno para um desenvolvimento formal da construção civil no sentido de padronizar os trabalhos desta natureza, objetivando melhorar os patamres atuais de durabilidade e vida útil das estruturas.

As análises realizadas pôde afirmar que a maior parte dos danos que ocorreram nas estruturas poderiam ser minimizados caso houvesse um controle de qualidade durante o processo de construção, aliado a uma forte iniciativa de manutenção preventiva.

Trabalhos como estes vem para alertar todos os profissionais do ramo, a fim de que se passe a ter mais cuidado com os procedimentos, com a execução da estrutura e também com sua utilização.

## REFERÊNCIAS

- ANDRADE, Maria del Carmem. **Manual para diagnóstico de obras deterioradas por corrosão de armaduras**. Tradução e adaptação de Antônio Carmona e Paulo Helene. 1. ed. São Paulo: Pini, 1992.
- ANDRADE, J. J. O. **Durabilidade das estruturas de concreto armado: análise das manifestações patológicas nas estruturas no estado de Pernambuco**. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1997.
- ANDRADE, T.; SILVA, A. J. C. **Patologia das Estruturas**. In: ISAIA, Geraldo Cechella. (Ed) **Concreto: In.: Concreto: Ensino, Pesquisa e Realizações**. Editor: Geraldo Cechella Isaia. São Paulo: IBRACON, 2005, V.1, Cap. 32.
- ARANHA, P. M. F. **Contribuição ao estudo das manifestações patológicas nas estruturas de concreto armado da região da Amazônia**. Porto Alegre: UFRGS, 1994. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1994, 144p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7211:2009: Agregados para concreto - Especificação**. Rio de Janeiro, 2009.
- \_\_\_\_\_. **NBR 12655:1996: Concreto - Preparo, Controle e Recebimento**. Rio de Janeiro, 2006.
- \_\_\_\_\_. **NBR 12654:1992: Controle tecnológico de materiais componentes do concreto**. Rio de Janeiro, 1992.
- \_\_\_\_\_. **NBR 14931:2004: Execução de Estruturas de Concreto – Procedimento**. Rio de Janeiro, 2004.
- \_\_\_\_\_. **NBR 5674:1999: Manutenção de Edificações – Procedimento**. Rio de Janeiro, 1999.
- \_\_\_\_\_. **NBR 6118:2014: Projeto de Estruturas de Concreto – Procedimento**. Rio de Janeiro, 2007.
- BAUER L.A.F. **Materiais de construção**, Rio de Janeiro: Ed. LTC, 1994, 5ª edição v.2
- BOTELHO, H. C.; MARCHETTI, O. **Concreto armado eu te amo**, v.1. 6ª edição. Editora Blucher, São Paulo, 2010.
- BRANDÃO, A. M. S. **Qualidade e durabilidade das estruturas de concreto armado: aspectos relativos ao projeto**. Dissertação (Mestrado), Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo, São Carlos, 1998.
- CALISTER, W.D., JR. **Ciência e engenharia de materiais: Uma introdução**. Rio de Janeiro: Editora LTC, 2002.
- CÁNOVAS, M. F. **Patologia e terapia de concreto armado**. São Paulo: PINI, 1998

CÁNOVAS, Manuel Fernández. **Patologia e terapia do concreto armado**. Tradução de Maria Celeste Marcondes, Carlos W. F. dos Santos, Beatriz Cannabrava. 1. ed. São Paulo: Pini, 1988. 522 p.

CARVALHO, R. C.; FIGUEIREGO FILHO, J. R. **Cálculo e detalhamento de estruturas usuais de concreto armado: segundo a NBR 6118 e a proposta de 1999 (NB1/99)**. São Paulo, 2011.

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

CASCUDO, O. **Inspeção e Diagnóstico de Estruturas de Concreto com Problemas de Corrosão da Armadura**. In.: *Concreto: Ensino, Pesquisa e Realizações*. Editor: Geraldo Cechella Isaia. São Paulo: IBRACON, 2005, V.1, Cap. 35.

CASCUDO, O. e HELENE, P.R.L. **Resistência à corrosão no concreto dos tipos de armaduras brasileiras para concreto armado**. *Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP*, Departamento de Engenharia de Construção Civil, São Paulo, 2001.

CAVACO, J. R. Z. **Patologias nas estruturas de concreto armado**. TCC, Curso de Engenharia Civil, Universidade Regional de Blumenau, Blumenau, SC, 48p. 2008.

CLIMACO, J. C. T. S. **Estruturas de concreto armado: fundamentos de projeto, dimensionamento e verificação**. Editora Universidade de Brasília: Finatec, Brasília, 2005.

DAL MOLIN, D.C.C. **Fissuras em estruturas de concreto armado: análise das manifestações típicas e levantamentos de casos ocorridos no estado do Rio Grande do Sul**. 1988. Dissertação (Mestrado em Engenharia). Curso de PósGraduação em Engenharia Civil -UFRGS, Porto Alegre, 1988.

FERREIRA, Rui Miguel. **Avaliação dos ensaios de durabilidade do betão**. 2000. 246 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia, Universidade do Minho, Braga, 2000.

FIGUEIREDO, A. D. **Concreto com Fibras**. In.: *Concreto: Ensino, Pesquisa e Realizações*. Editor: Geraldo Cechella Isaia. São Paulo: IBRACON, 2005, V.2, Cap. 39.

FIGUEIREDO, ENIO PAZINI. **Efeitos da carbonatação e de cloretos no concreto, Concreto: Ensino, Pesquisa e Realizações**, IBRACON, Cap. 27, p.829 – 855, V. 2, ed. Geraldo C. Isaia, São Paulo. 2005

HELENE, P. **Corrosão em armaduras para concreto armado**. São Paulo: Editora Pini – Instituto de pesquisas Tecnológicas IPT, 1986.

HELENE, P. **Manual de Reparo, Proteção e Reforço de Estruturas de Concreto**. Editora Reabilitar, São Paulo, 2003.

HELENE, P. **Manutenção para reparo, reforço e proteção de estruturas de concreto**. São Paulo. Editora PINI, 1992.

LIMA, M. G. **Ação do meio ambiente sobre as Estruturas de Concreto**. In: ISAIA, Geraldo Cechella. (Ed) Concreto: In.: Concreto: Ensino, Pesquisa e Realizações. Editor: Geraldo Cechella Isaia. São Paulo: IBRACON, 2005, V.1, Cap. 24.

MEHTA, Povindar Kumar; MONTEIRO Paulo José Melaragno. **CONCRETO: estrutura, propriedades e materiais**. São Paulo: PINI, 1994.

NEVILLE, Adam Matthew. **Propriedades do Concreto**. 2ª edição, São Paulo: PINI, 1997

PERDRIX, M. D. C. **Manual para Diagnóstico de Obras Deterioradas por Corrosão de Armaduras**. Editora Pini, São Paulo, 1992.

PIANCASTELLI, E. M. **Patologia, Recuperação e Reforço de Estruturas de Concreto Armado**. Apostila para Curso de Extensão, Ed. Depto. Estruturas da Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 1997.

PRISZKULNIK, S. **Inspeção e Diagnóstico de Estruturas de Concreto afetadas pelas Reações Cimento – Agregado**. In: ISAIA, Geraldo Cechella. (Ed) Concreto: In.: Concreto: Ensino, Pesquisa e Realizações. Editor: Geraldo Cechella Isaia. São Paulo: IBRACON, 2005, V.1, Cap. 34.

SILVA, F. A. S. **Avaliação do teor de íons cloreto no ar atmosférico da praia de futuro em Fortaleza/CE**. Monografia. Universidade Federal do Ceará, 2011.

SILVA, L. K. **Levantamento de manifestações patológicas em estruturas de concreto armado no Estado do Ceará**. Monografia. Universidade Federal do Ceará, 2011.

SOUZA, Vicente Custódio Moreira de; RIPPER, Thomaz. **Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto**. São Paulo: Editora PINI, 1998.

VASCONCELOS, Augusto Carlos de; CARRIERI JÚNIOR, Renato. **A escola brasileira do concreto armado**. 1. ed. São Paulo: Axis Mundi, 2005. 207 p.

VITÓRIO, A. **Manutenção e gestão de obras de arte especiais**. VII Encontro Nacional das Empresas de Arquitetura e Urbanismo, Pernambuco, 2005.

## APÊNDICE A - EMPREENDIMENTO EM ESTUDO: FOTOS

**Figura 35:** Estrutura principal do estádio.



Fonte: Autor, 2015.

**Figura 36:** Entrada principal e passarela de acesso a arquibancada.



Fonte: Autor, 2015.

**Figura 37:** Passarela destinada às pessoas com limitações físicas que se encontra interdita.



**Fonte:** Autor, 2015.

**Figura 38:** Vista inferior da passarela destinada às pessoas com limitações físicas.



**Fonte:** Autor, 2015.

**Figura 39:** Parte inferior a passarela.



**Fonte:** Autor, 2015.

**Figura 40:** Espaço destinado a feiras e eventos localizado abaixo da arquibancada.



**Fonte:** Autor, 2015.

**Figura 41:** Espaço destinado a feiras e eventos.



**Fonte:** Autor, 2015.

**Figura 42:** Detalhe da arquibancada toda em estrutura de concreto.



**Fonte:** Autor, 2015.

**Figura 43:** Área de camarotes, cabines de rádios, banheiros e de conveniência.



**Fonte:** Autor, 2015.

**Figura 44:** Laje superior da arquibancada com vista da entrada principal.



**Fonte:** Autor, 2015.

**Figura 45:** Vista da segunda entrada.



**Fonte:** Autor, 2015.

**Figura 46:** Interior do espaço de conveniência (área de banheiros, bebedouros, cabines de rádio)



**Fonte:** Autor, 2015.

**Figura 47:** Passarela de pedestres e de acessibilidade da segunda entrada.



**Fonte:** Autor, 2015.

**Figura 48:** Estrutura da arquibancada e da passarela de pedestres.



**Fonte:** Autor, 2015.

**Figura 49:** Piso 1 da área de conveniência.



**Fonte:** Autor, 2015.

**Figura 50:** Piso 2.



**Fonte:** Autor, 2015.

**Figura 51:** Parte inferior da passarela de pedestres da segunda entrada.



**Fonte:** Autor, 2015.

**Figura 52:** Escada da lateral da segunda entrada.



**Fonte:** Autor, 2015.