



**ESTADO DE CONSERVAÇÃO E SEGURANÇA DA
PONTE SOBRE O RIO TOCANTINS EM PORTO NACIONAL:
CONFORME ABNT/NBR 9452:2016**

SÃO PAULO

2018



GISELI APARECIDA MATIAS AZEVEDO
HENRIQUE THIERS CARVALHO DE GODOY
ROBSON CASSIO BARBOSA SOUZA

**ESTADO DE CONSERVAÇÃO E SEGURANÇA DA
PONTE SOBRE O RIO TOCANTINS EM PORTO NACIONAL:
CONFORME ABNT/NBR 9452:2016**

Projeto de pesquisa desenvolvido para apresentação de Trabalho de Conclusão do Curso de Pós-Graduação em Patologia nas Obras Civas para obtenção do grau de especialista.

Prof. Orientador: Msc. Luís César De Luca.

SÃO PAULO

2018

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, pois sem ele não somos nada, ele é quem nos fortalece e quem diariamente alimenta a nossa fé para poder seguir em frente com dignidade e coragem, é o maior mestre que alguém pode conhecer.

Aos meus pais João Lustosa de Souza (in memoriam) e Benilde Barbosa Souza pela dedicação e preocupação com meus estudos e minha fonte de inspiração.

À minha Esposa Marilene Pinheiro Barros e Meus filhos Maria Eduarda Pinheiro Barros Souza e João Pedro Pinheiro Barros Souza, pela paciência e companheirismo, ficando ausente em períodos importantes, em algumas etapas da vida de vocês, durante esses 2 anos, sem dúvida a presença de vocês ao meu lado foi um grande diferencial na minha vida para mais essa conquista.

À meu esposo Ricardo Coelho da Cruz e minha filha Vitória Azevedo da Cruz por me apoiarem em todas as minhas decisões e por entenderem a minha ausência e em especial ao meu pai José Azevedo Sobrinho (in memoriam) e minha mãe Ondina Azevedo que com muito esforço me guiaram no caminho certo e me ensinaram desde cedo a importância dos estudos para poder ser alguém na vida.

Agradeço primeiramente minha esposa Belania Ribeiro da Luz pelo apoio incondicional e pelos momentos ausentes, aos meus familiares por sempre acreditarem em mim e aos colaboradores do Instituto IDD que sempre foram muito solícitos nesse período.

Ao engenheiro civil prof. De Luca pela valiosa colaboração no levantamento de campo deste trabalho.

Ao engenheiro civil prof. Rafael Timerman pela sua colaboração na análise e interpretação da ABNT/NBR 9452:2016.

Gostaríamos de agradecer a AGETO Agencia de Infraestrutura do estado do Tocantins em nome do Engenheiro Manuel Lúcio que contribui com as informações sobre a ponte de Porto Nacional.

Não poderíamos de deixar de agradecer também o Engenheiro Civil Eduardo Coelho, ao colega marcos que nos conduziu de barco para fazer as inspeções visuais nos pilares.

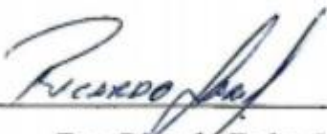
ESTADO DE CONSERVAÇÃO E SEGURANÇA DA
PONTE SOBRE O RIO TOCANTINS EM PORTO NACIONAL:
CONFORME ABNT/NBR 9452:2016

Por

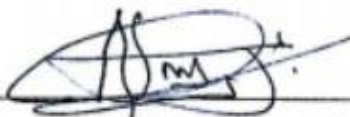
GISELI APARECIDA MATIAS AZEVEDO
HENRIQUE THIERS CARVALHO DE GODOY
ROBSON CASSIO BARBOSA SOUZA

TRABALHO APROVADO COMO REQUISITO PARCIAL PARA A OBTENÇÃO
DO TÍTULO DE ESPECIALISTA EM PATOLOGIA NAS OBRAS CIVIS, DO
INSTITUTO IDD, PELA COMISSÃO FORMADA PELOS PROFESSORES A
SEGUIR MENCIONADOS.

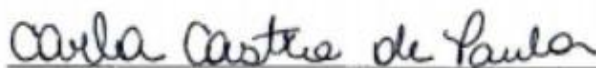
São Paulo (SP) 26 de Janeiro de 2018.



Esp. Ricardo Tadeu Pinto de Faria



Esp. André Tadeu Moreno Figueiró



Esp. Carla Castro de Paula

RESUMO

O estado de deterioração das estruturas em conjunto com a falta de manutenção periódica vem contribuindo para um aumento dos colapsos estruturais ocorridos nos últimos anos, pode-se destacar o colapso do viaduto ocorrido na cidade de Brasília, ficando evidenciado a falta de manutenção um dos fatores que contribuíram para desabamento. O presente estudo trata-se de um estudo de caso, onde procurou-se avaliar de forma visual o estado de conservação da Ponte, em concreto armado, sobre o rio Tocantins em Porto Nacional, e classificá-la conforme os critérios adotados pela ABNT/NBR 9452:2016. O presente trabalho analisou todo o tabuleiro da referida ponte sobre o rio Tocantins, acessou alguns caixões perdidos, analisou as barreiras rígidas e os 9 (nove) pilares de sustentação da ponte. Para a análise do tabuleiro da ponte, foi necessário dividi-la em 19 (dezenove) trechos, para facilitar o mapeamento das manifestações patológicas encontradas ao longo dos 900 m da ponte. Após o mapeamento e análise das manifestações patológicas encontradas tais como lixiviação estalactites, corrosão das armaduras, pista de rolamento com pavimento deteriorado, juntas de dilatação bem danificas. Foi possível classifica-la, conforme o seu estado de conservação, com base na ABNT/NBR 9452:2016.

Palavras Chaves: obra de arte especial, Concreto Armado, Manifestações Patológicas, Vida útil, durabilidade, tipos de Inspeção.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1 - DIFERENTES FORMAÇÕES DE PASTAS E CONCRETOS.....	20
FIGURA 2 - FISSURA POR RETRAÇÃO PLÁSTICA.....	42
FIGURA 3 - FISSURAS POR SOBRECARGAS.....	43
FIGURA 4 - DETERIORAÇÃO PROGRESSIVA DEVIDO À CORROSÃO DAS ARMADURAS....	44
FIGURA 5 - CORROSÃO DAS ARMADURAS	44
FIGURA 6 - PROCESSO DE CARBONATAÇÃO.....	47
FIGURA 7 - ALCALINIDADE DO CONCRETO	48
FIGURA 8 - FENDAS E FISSURAS, PAVIMENTO EM CONCRETO	55
FIGURA 9 - DESPLACAMENTO DO CONCRETO POR CORROSÃO	56
FIGURA 10 - DESGASTES DAS JUNTAS DE MOVIMENTAÇÃO, FALTA DE MANUTENÇÃO	58
FIGURA 11 - PONTE EM PLANTA DIVISÃO DOS TRECHOS	64
FIGURA 12 - PISTA DE ROLAMENTO E PILAR.....	89
FIGURA 13 - CORTE DA PONTE COM AS CÂMERAS CAIXÃO.....	89
FIGURA 14 - MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS NOS PILARES E TUBULÃO.....	106
FIGURA 15 - DETERIORAÇÃO DO CONCRETO NO APOIO 4.....	107

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - CLASSE DE AGRESSIVIDADE AMBIENTAL	51
TABELA 2 - CORRESPONDÊNCIA ENTRE A CLASSE DE AGRESSIVIDADE.....	51
TABELA 3 - DISTRIBUIÇÕES DOS TRECHOS POR DISTÂNCIA	63
TABELA 4 - EVOLUÇÃO DOS DANOS NOS ANOS 2003, 2010, 2017	108
TABELA 5 - CLASSIFICAÇÃO DA ESTRUTURA.....	108
TABELA 6 - PARÂMETROS AVALIADOS CONFORME ABNT NBR 9452/2016	109

LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1 - GRÁFICO DE VIDA ÚTIL	27
GRÁFICO 2 - REGRA DOS 5.....	30
GRÁFICO 3 - CAUSAS DAS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS NO BRASIL.....	34
GRÁFICO 4 - PROFUNDIDADE DE CARBONATAÇÃO	48
GRÁFICO 5 - MODELO DE TUUTTI PARA A CORROSÃO DE ARMADURAS	53
GRÁFICO 6 - ESTADO DE CONSERVAÇÃO DA PISTA DE ROLAMENTO	87
GRÁFICO 7 - ESTADO DE CONSERVAÇÃO DAS JUNTAS DE MOVIMENTAÇÃO	88
GRÁFICO 8 - ESTADO DE CONSERVAÇÃO DOS PILARES DA ESTRUTURA.....	99

Lista de Quadros

QUADRO 1 - LOCALIZAÇÃO DA PONTE SOBRE O RIO TOCANTINS	62
QUADRO 2 - MATERIAIS DA USADOS NA INSPEÇÃO	66
QUADRO 3 - DETERIORAÇÃO DO TRECHO 1	68
QUADRO 4 - DETERIORAÇÃO DO TRECHO 2	69
QUADRO 5 - DETERIORAÇÃO DO TRECHO 3	70
QUADRO 6 - DETERIORAÇÃO DO TRECHO 4	70
QUADRO 7 - DETERIORAÇÃO DO TRECHO 5	71
QUADRO 8 - DETERIORAÇÃO DO TRECHO 6	72
QUADRO 9 - DETERIORAÇÃO DO TRECHO 7	73
QUADRO 10 - DETERIORAÇÃO DO TRECHO 8	74
QUADRO 11 - DETERIORAÇÃO DO TRECHO 9	75
QUADRO 12 - DETERIORAÇÃO DO TRECHO 10	76
QUADRO 13 - DETERIORAÇÃO DO TRECHO 11	77
QUADRO 14 - DETERIORAÇÃO DO TRECHO 12	78
QUADRO 15 - DETERIORAÇÃO DO TRECHO 13	79
QUADRO 16 - DETERIORAÇÃO DO TRECHO 14	80
QUADRO 17 - DETERIORAÇÃO DO TRECHO 15	81
QUADRO 18 - DETERIORAÇÃO DO TRECHO 16	82
QUADRO 19 - DETERIORAÇÃO DO TRECHO 17	83
QUADRO 20 - DETERIORAÇÃO DO TRECHO 18	84
QUADRO 21 - DETERIORAÇÃO DO TRECHO 19	85
QUADRO 22 - MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS NOS CAIXÕES PERDIDOS	90
QUADRO 23 - DETERIORAÇÃO DO PILAR 1	92
QUADRO 24 - DETERIORAÇÃO DO PILAR 2	93
QUADRO 25 - DETERIORAÇÃO DO PILAR 3	94
QUADRO 26 - DETERIORAÇÃO DO PILAR 4	95
QUADRO 27 - DETERIORAÇÃO DO PILAR 5	96
QUADRO 28 - DETERIORAÇÃO DO PILAR 6	96
QUADRO 29 - DETERIORAÇÃO DO PILAR 7	97
QUADRO 30 - DETERIORAÇÃO DO PILAR 8	97

QUADRO 31 - DETERIORAÇÃO DO PILAR 9.....	98
QUADRO 32 - MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS ESTRUTURAIS	99
QUADRO 33 - INSPEÇÃO SUBAQUÁTICA.....	105

Sumário

AGRADECIMENTOS	3
LISTA DE ILUSTRAÇÕES.....	6
LISTA DE TABELAS	7
LISTA DE GRÁFICOS	8
1. INTRODUÇÃO	15
1.1. PROBLEMA	16
1.2. HIPÓTESE	16
1.3. OBJETIVOS.....	16
1.3.1. OBJETIVO GERAL.....	16
1.3.2. <i>Objetivos Específicos</i>	17
1.4. JUSTIFICATIVAS.....	17
1.4.1. <i>Tecnológicas</i>	17
1.4.2. <i>Econômicas</i>	17
1.4.3. <i>Sociais</i>	17
1.4.4. <i>Ecológicas</i>	18
1.5. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	18
1.6. APRESENTAÇÃO DO TRABALHO	18
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	20
2.1. CONCRETO	20
2.2. AÇO.....	22
2.3. CONCRETO ARMADO.....	23
2.4. CONCRETO PROTENDIDO	24
2.5. DURABILIDADE E VIDA ÚTIL DO CONCRETO.....	25
2.5.1. <i>Durabilidade do concreto</i>	25
2.5.2. <i>Vida Útil</i>	26
2.5.3. <i>Resistência</i>	28
2.6. MATERIAIS EMPREGADOS	29
2.7. LEI DOS 5 OU REGRA DE SITTER.....	30

2.8. NORMAS TÉCNICAS.....	31
2.9. DIAGNÓSTICO DAS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS	31
2.9.1. Os ensaios não destrutivos são:.....	33
2.9.2. Os ensaios destrutivos são:.....	33
2.10. MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS.....	34
2.11. CAUSAS DE DETERIORAÇÃO DAS PONTES DE CONCRETO.....	35
2.11.1 Fatores intrínsecos	36
2.11.2.Fatores resultantes do tráfego rodoviário.....	36
2.11.3 Fatores ambientais	37
2.11.4.Fatores resultantes do tipo e intensidade da manutenção	37
2.11.5.FATORES CORRELACIONADOS À ATIVIDADE HUMANA	37
2.11.5.2Fatores resultantes do tráfego rodoviário.....	38
2.12. RECOMENDAÇÕES PARA ESTRUTURAS DURÁVEIS	39
2.13. CAUSAS FÍSICAS DA DETERIORAÇÃO DO CONCRETO	40
2.13.1.Trincas e Fissuras em Estruturas de Concreto	40
2.13.2.Fissuração	40
2.13.3.As Fissuras Comuns	41
2.14. CAUSAS QUÍMICAS DE DETERIORAÇÃO DO CONCRETO	44
2.14.1.Principais Causas Químicas.....	44
2.15. CAUSAS DE MANIFESTAÇÕES PATOLOGIAS EM PONTES	55
2.15.1.Fendas e Fissuras	55
2.15.2.Deteriorações em concreto	56
2.15.3.Ruptura de fundação.....	56
2.15.4.Deslizamento de encontro.....	57
2.15.5 Deteriorações.....	57
2.15.6.Falhas nas juntas	57
2.16. INSPEÇÃO DE ESTRUTURA.....	58
2.16.1.Procedimentos nas inspeções	58
2.16.2.Procedimentos gerais	58
2.16.3.Tipos de inspeção.....	59
3. ESTUDO DE CASO.....	62

3.1. LOCALIZAÇÃO.....	62
3.2. DIVISÃO DOS TRECHOS.....	63
3.3. MATERIAIS	66
3.4. SUPERESTRUTURA	67
3.4.1. Trecho 1 – Pavimento	67
3.4.2. Trecho 2 – Pavimento	68
3.4.3. Trecho 3– Pavimento	69
3.4.4. Trecho 4– Pavimento	70
3.4.5. Trecho 5– Pavimento	71
3.4.6. Trecho 6– Pavimento	72
3.4.7. Trecho 7– Pavimento	73
3.4.8. Trecho 8– Pavimento	74
3.4.9. Trecho 9– Pavimento	75
3.4.10.Trecho 10– Pavimento	76
3.4.11.Trecho 11– Pavimento	77
3.4.12.Trecho 12– Pavimento	78
3.4.13.Trecho 13– Pavimento	79
3.4.14.Trecho 14– Pavimento	80
3.4.15.Trecho 15– Pavimento	81
3.4.16.Trecho 16– Pavimento	82
3.4.17.Trecho 17– Pavimento	83
3.4.18.Trecho 18– Pavimento	84
3.4.19.Trecho 19– Pavimento	85
4. APRESENTAÇÃO E ANALISE DOS RESULTADOS	87
4.1. SUPERESTRUTURA.....	87
4.2. MESOESTRUTURA (CAIXÕES)	88
APÓS A ANÁLISE PODE-SE OBSERVAR A NÍTIDA FALTA DE MANUTENÇÃO NOS CAIXÕES PERDIDOS COMO EM TODA A EXTENSÃO DA PONTE.....	91
4.3. MESOESTRUTURA (PILAR)	91
4.3.1. Pilar 1	92
4.3.2. Pilar 2	93

4.3.3. <i>Pilar 3</i>	93
4.3.4. <i>Pilar 4</i>	94
4.3.5. <i>Pilar 5</i>	95
4.3.6. <i>Pilar 6</i>	96
4.3.7. <i>Pilar 7</i>	97
4.3.8. <i>Pilar 8</i>	97
4.3.9. <i>Pilar 9</i>	98
4.4. MESOESTRUTURA (PILARES)	98
4.5. VISTA LATERAL DA GRELHA E PILAR COM CAVALETES.....	99
4.6. PARÂMETROS ESTRUTURAIS	101
4.7. PARÂMETROS FUNCIONAIS	102
4.8. PARÂMETROS DE DURABILIDADE	102
4.9. CRITÉRIOS DE DEFINIÇÃO DAS NOTAS DE CLASSIFICAÇÃO	102
4.10. PARÂMETROS DE AVALIAÇÃO DAS OAE's	103
4.11. DEFINIÇÃO DAS NOTAS DE CLASSIFICAÇÃO	103
4.12. LEVANTAMENTO DAS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS.....	104
4.13. INSPEÇÃO SUBAQUÁTICA	104
4.14. INSPEÇÕES SUBAQUÁTICAS REALIZADA PELA LSE	104
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	110
5.1. CONSIDERAÇÕES FINAIS	110
5.2. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	111
6. REFERÊNCIAS	112
7. ANEXOS	114

1. INTRODUÇÃO

Pontes, viadutos, passagens inferiores, túneis, também conhecidas como obras de artes especiais, são de extrema importância para o desenvolvimento de diferentes regiões do país, integrando cidades e reduzindo distâncias. A importância das obras de arte especiais são: estruturas que têm a finalidade de transpor obstáculos, tais como avenidas, vales, rios, entre outros. Quando construídas sobre cursos d'água, são denominadas pontes; sobre avenidas ou vales secos, viadutos, essas obras-de-arte especiais tem a finalidade de promover o desenvolvimento relacionamento humano e tem sido a força que impulsiona o avanço nos conhecimentos das técnicas de construção e manutenção destas estruturas. Portanto para diversos autores e profissionais da área ainda falta ao Brasil uma cultura de manutenção de suas obras-de-arte.

A exposição das pontes e viadutos aos variados mecanismos de deterioração exige que cuidados sejam adotados no sentido de preservar a funcionalidade da estrutura e aumentar sua vida útil.

As ações externas provenientes de cargas móveis de veículos, forças devido ao vento, ação das águas de rios que incidem nas mesoestrutura e infraestruturas, variações de temperatura, retração e fluência no caso do concreto. Além disso, estão construídas em ambientes sujeitos a diversos tipos de classes de agressividade, conforme é apresentado na ABNT/NBR 6118:2014, desde as mais fracas até locais com agressividade muito forte.

Considerando, o alto números de acidentes e de manifestações patológicas aparentes, gerando prejuízos econômicos e alguns até com perda de vidas, é dada cada vez mais importância a questão da conservação das estruturas. Afim de garantir uma vida útil e de desempenho estrutural e funcional, adequada através de manutenção, com vistorias periódicas, a ABNT/NBR 9452:2016, especifica os requisitos exigíveis na realização de inspeções em pontes, viadutos e passarelas de concreto e na apresentação dos resultados destas inspeções apresenta quatro tipos de vistorias em obras de arte especiais: cadastrais, rotineiras especiais e extraordinárias.

A inspeção de estruturas de concreto conjunto de procedimentos técnicos e especializados que compreendem a coleta de dados necessários à formulação de um diagnóstico e prognóstico da estrutura, visando manter ou restabelecer os requisitos de segurança estrutural, de funcionalidade e de durabilidade.

1.1. PROBLEMA

Diante das inúmeras causas de deterioração na Ponte sobre o rio Tocantins faz-se o seguinte questionamento. Será que a falta de manutenção preventiva e uma fiscalização adequada está influenciando no aparecimento de inúmeras manifestações patológicas?

1.2. HIPÓTESE

Presume-se que sim, pois trata-se de uma estrutura que estão submetidas a grandes esforços, não são realizadas as manutenções adequadas na grande maioria, além de ser uma estrutura antiga. As obras-de-arte especiais estão sujeitas à ação de diversas manifestações patológicas patologias da construção, em função do seu uso contínuo. Essas construções estão submetidas às ações externas provenientes de cargas móveis de veículos, forças devido ao vento, ação das águas de rios que incidem nas mesoestruturas e infraestruturas, variações de temperatura, retração e fluência no caso do concreto. Acredita-se que falta de programas preventivos de manutenção em grande parte dos casos, influenciam no aparecimento das manifestações patológicas.

1.3. OBJETIVOS

Neste item serão apresentados os objetivos que incitaram essa pesquisa.

1.3.1. OBJETIVO GERAL

Avaliar o estado de conservação da Ponte, de Concreto Armado, sobre o rio Tocantins em Porto Nacional, e classificá-la conforme os critérios adotados pela ABNT/NBR 9452:2016.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Identificar dentre as manifestações patológicas, quais as mais comuns nessas estruturas
- Classificação da ponte do seu estado de conservação, conforme a ABNT/NBR 9452:2016

1.4. JUSTIFICATIVAS

Neste item apresentam-se as justificativas para a pesquisa, a saber: tecnológicas, econômicas, sociais e ecológicas.

1.4.1. Tecnológicas

Considerando, que a maiorias das obras de artes especiais foram projetados e executados a décadas atrás sem nenhum estudo adequado para a implantação das mesmas, uma técnica executiva não utilizada mais, sem levar em consideração a tecnologia no concreto implantado na época sem levar em conta os níveis de agressividade ambiental. Por esses motivos se faz necessário um maior rigor na fiscalização e na manutenção dessas obras antigas, aplicando novas técnicas de recuperação, que irão contribuir para o desenvolvimento da tecnologia de recuperação dessas obras.

1.4.2. Econômicas

Tendo em vista que o principal meio de escoamento dos produtos, seja a malha rodoviária, a inutilidade das pontes em qualquer trecho da rodovia vai gerar grandes prejuízos econômicos ao país, e deixando boa parte da população desabastecida de produtos de consumo.

1.4.3. Sociais

A inutilização das obras de artes especiais, causam um impacto bem considerável junto a sociedade, pois com a sua incapacidade funcional irá aumentar as distancias, causando engarrafamentos nos grandes centros urbanos, gerando um verdadeiro caos a população.

1.4.4. Ecológicas

Considerando, que todo processo de recuperação por mais simples que seja, gera uma grande quantidade de entulhos, mediante essa situação a falta de manutenção preventiva pode levar ao colapso estrutural das obras de artes especiais, gerando uma grande quantidade de resíduos sólidos da obra existente e colapsada, acumulando mais resíduos de uma nova obra, com isso gerando um impacto ambiental muito grande. Com a manutenção preventiva a tendência é que esses danos ambientais gerados pelo acúmulo de entulho seja bem menor em relação ao impacto ambiental

1.5. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

No Processo metodológico, o referido estudo foi dividido em duas etapas, com a finalidade de atingir os objetivos propostos.

A primeira etapa consiste em uma revisão bibliográfica dos conceitos de durabilidade e vida útil das estruturas, além das manifestações patológicas, das obras-de-arte especiais, através de consultas a dissertações, teses, monografias, artigos científicos, livros editados e normas aplicáveis, a fim de obter subsídio suficiente para execução da etapa a seguir.

Já a segunda etapa consiste em um relatório fotográfico e catalográfico das manifestações patológicas aparentes além de classificá-las conforme seu estado de conservação, de acordo com a ABNT/NBR 9452:2016. A ponte inspecionada encontra-se no município de Porto Nacional no Tocantins a 60 km de Palmas capital do estado.

1.6. APRESENTAÇÃO DO TRABALHO

Este trabalho foi estruturado em seis capítulos, os quais apresentam resumidamente os seguintes conteúdos:

- No **primeiro capítulo**, é apresentada uma introdução ao assunto, são levantados os principais argumentos do trabalho, procurando contextualizar e caracterizar seu objeto, bem como a estrutura do trabalho proposto;

- O **segundo capítulo**, enfatiza a revisão bibliográfica sobre o tema proposto, são apresentados os tipos de inspeções. Também se realiza uma breve abordagem sobre os conceitos de durabilidade e vida útil das estruturas, como normas técnicas das além das manifestações patológicas, das obras-de-arte especiais;
- No **terceiro capítulo**, apresenta o estudo de caso deste trabalho, relatando os passos das inspeções realizadas, a metodologia de coleta de dados e o levantamento das manifestações patológicas encontradas, bem como a análise de seus fatores influentes;
- O **quarto capítulo**, apresentação dos resultados obtidos através de relatório fotográfico e catalográfico das manifestações patológicas.
- O **quinto capítulo**, apresenta as considerações finais acerca da pesquisa e as recomendações para trabalhos futuros.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O presente capítulo apresenta fundamentação teórica sobre o material concreto e as manifestações patológicas nas estruturas em concreto armado e suas consequências.

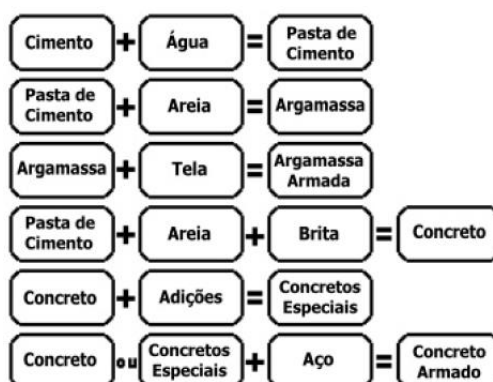
2.1. CONCRETO

O concreto armado é o material mais utilizado na construção civil em todo o mundo, pois essa sua posição de prestígio se justifica pela sua boa capacidade e seu ótimo desempenho além da facilidade de execução e economia. (PORTO E FERNANDES, 2015).

O concreto tem diferentes configurações, composto por agregados graúdos (pedras britadas, seixos rolados), agregados miúdos (areia natural ou artificial), aglomerantes (cimento) e água, e para modificar características naturais do concreto, podem ser empregados aditivos e adições, existindo uma grande variedade destes: colorantes, aceleradores, retardadores de tempo de pega, fluidificantes, impermeabilizantes, fibras, etc. conforme observa-se na Figura 1, (PORTO E FERNANDES, 2015).

O material de construção mais utilizado é o concreto, comumente composto da mistura de cimento Portland com areia, brita e água. Em muitos países, a proporção do consumo de concreto sobre o consumo de aço é de dez para um. Não há material mais consumido pelo homem em tamanha quantidade, com exceção da água. (MEHTA E MONTEIRO, 2006, p. 3).

Figura 1- Diferentes formações de pastas e concretos, a partir de cimentos, areia, água e adições



Fonte - Projeto de Graduação da Politécnica do Rio de Janeiro (autora Tejedor 2013).

O concreto é usado em obras de arquitetura e engenharia, tais como edifícios, pontes, barragens, portos, canais, túneis, etc., bem como em edificações cuja estrutura principal é executada em aço onde sua utilização é imprescindível nas fundações.

Na antiguidade os materiais empregados nas construções eram de pedra natural e madeira, por estarem disponíveis com maior facilidade na natureza. Outros materiais como o ferro, o aço e o concreto só foram empregados nas construções tempos mais tarde. É o material considerado ideal para as construções é aquele que apresenta conjuntamente as qualidades de resistência e durabilidade (PORTO E FERNANDES, 2015).

A pedra, foi um material muito utilizado nas construções antigas, pois tem uma excelente resistência à compressão e durabilidade muito elevada, porém, por outro lado tem baixa resistência à tração. A madeira também tem razoável resistência, mas a durabilidade é limitada. O ferro e o aço têm resistência elevada, mas a durabilidade também é limitada em consequência da corrosão que podem sofrer. O concreto surgiu da necessidade de aliar a durabilidade da pedra com a resistência do aço, com as vantagens de o material composto poder assumir qualquer forma, com rapidez e facilidade, e com o aço envolvido e protegido pelo concreto para evitar a sua corrosão (TEJEDOR, 2013).

A principais características estrutural do concreto é apresentar boa resistência à solicitação de compressão, mas se mostra frágil à tração e consequentemente à flexão e cortante. Por este motivo, o concreto é normalmente associado ao aço, recebendo a denominação de concreto armado ou concreto protendido; comportando-se o conjunto muito favoravelmente diante das diversas solicitações (TEJEDOR, 2013).

Os materiais de construção feitos à base de cimento, chamados “materiais cimentícios”, podem ser considerados os materiais mais importantes produzidos pelo homem, porque lhe possibilitou construir as edificações e todas as principais obras de que necessitava para viver, como por exemplo as habitações, fortificações, aquedutos, barragens, obras sanitárias, pontes, rodovias, escolas, hospitais, teatros, igrejas, museus, palácios, entre tantos outros tipos de construção. Na antiguidade foram os romanos os que mais se destacaram na aplicação dos concretos e argamassas, que lhes possibilitou

criar espaços amplos em forma de arco, abóbadas e cúpulas, de grandes dimensões (PORTO E FERNANDES, 2015).

O consumo mundial total de concreto, no ano de 1963, foi estimado em 3 bilhões de toneladas, ou seja, uma tonelada por ser humano vivo. O homem não consome nenhum outro material em tal quantidade, a não ser a água. Dentre fatores de seu alto consumo é a facilidade e disponibilidade de encontrar os materiais que o compõem e a um custo relativamente baixo; facilidade de execução; adaptação a praticamente todo tipo de forma e tamanho; excelente resistência à água e a diversas ações; e ainda, o fato de se apresentar como um material “ecologicamente correto” (PORTO E FERNANDES, 2015).

No Brasil pouco se sabe sobre o início da utilização do concreto armado. Existem alguns relatos históricos que a utilização do concreto armado se deu no início do século XX no Rio de Janeiro, em uma publicação do professor Antônio da Paula Freitas em 1904, da escola Polytechnica do Rio de Janeiro, intitulada “Construção em Cimento Armado”, sendo utilizada no Brasil pela primeira vez em obras habitacionais em Copacabana (PORTO E FERNANDES, 2015).

2.2. AÇO

Os aços para estruturas de concreto armado são ligas de ferro que contém materiais como carbono, manganês, silício e cromo com o intuito de melhorar suas propriedades, porém podem conter também impurezas não metálicas como combinações de fósforo e enxofre. Conforme a composição desta liga, resultam diferentes propriedades do aço, sendo o teor de carbono a característica mais importante, já que esta define a resistência mecânica do aço (ALMEIDA, 2002).

A norma brasileira ABNT/NBR 7480:2007 classifica os aços utilizados para estruturas de concreto armado em dois tipos, conforme apresentado a seguir:

a) Barras: produtos de diâmetro nominal 6,3 mm ou superior, obtidos exclusivamente por laminação a quente, sem processo posterior de deformação mecânica;

b) Fios: produtos de diâmetro nominal 10,0 mm ou inferior, obtidos a partir de fio-máquina por trefilação ou laminação a frio.

Esta mesma norma classifica, ainda, os aços em três grupos de acordo com suas características geométricas, sendo eles: CA-50, CA-60 e CA-25. O número indicativo de cada grupo é o valor característico do limite de escoamento a tração, expresso em kN/cm².

Conforme FUSCO (2007) as diversas variações de fios e barras de aço, existentes no mercado interno atualmente podem ser divididos em duas classes, A e B, conforme o processo de fabricação. A classe A é constituída pelas barras produzidas por laminação a quente sem posterior deformação a frio. Estes materiais possuem escoamento bem definido. Já a classe B é composta pelos fios e barras obtidos por processos de deformação a frio. Para estes, o escoamento é determinado pela tensão que provoca a deformação residual de 0,2%.

2.3. CONCRETO ARMADO

O concreto é um material que apresenta excelente resistência às tensões de compressão, porém, apresenta baixa resistência à tração. Assim sendo, torna-se indispensável a necessidade de associar ao concreto um material com alta resistência à tração, com o objetivo deste material, resistir às tensões de tração atuantes. Com esse material composto (concreto e armadura – barras de aço), surge então o chamado “concreto armado”, onde as barras da armadura absorvem as tensões de tração e o concreto absorve as tensões de compressão. (BASTOS, 2006).

Devido ao fato de o concreto apresentar boa resistência à compressão, mas não à tração, a utilização do concreto simples se mostra muito limitada. Quando se faz necessária a resistência aos esforços de compressão e tração, associa-se o concreto a materiais que apresentem alta resistência à tração, resultando no concreto armado (concreto e armadura passiva) ou protendido (concreto e armadura ativa). (PORTO E FERNANDES, 2015, p. 18).

Uma característica essencial para esta associação é a aderência entre o concreto e a armadura. Sendo imprescindível essa solidariedade real entre ambos (concreto e aço) permitindo que o trabalho seja realizado de forma homogenia.

Podemos definir o concreto armado como “a união do concreto simples e um material resistente à tração de tal modo que ambos resistam solidariamente aos esforços solicitantes” (MEDEIROS *et al.*, 2011, apud Silva 2011).

A armadura do concreto armado é chamada “armadura passiva”, o que significa que as tensões e deformações nela aplicadas devem-se exclusivamente aos carregamentos aplicados nas peças onde está inserida (Silva 2011).

As propriedades do concreto, o trabalho conjunto do concreto e do aço é possível porque os coeficientes de dilatação térmica dos dois materiais são praticamente iguais. Outro aspecto positivo deste material é que o concreto protege o aço da oxidação, garantindo a durabilidade do conjunto. Porém, a proteção da armadura contra a corrosão só é garantida com a existência de uma espessura de cobrimento entre a barra de aço e a superfície externa da peça conforme o grau de agressividade ambiental, entre outros fatores também importantes relativos à durabilidade, como a qualidade do concreto (Silva 2011).

2.4. CONCRETO PROTENDIDO

No concreto protendido, a ideia básica é aplicar tensões prévias de compressão nas regiões da peça que serão tracionadas pela ação do carregamento externo. Deste modo, as tensões de tração são diminuídas ou até mesmo anuladas pelas tensões de compressão pré-existentes ou pré-aplicadas (TEJEDOR, 2013).

Os sistemas de protensão realizados nas fábricas e nos canteiros de obra são diversos.

O sistema de pré-tensão, a protensão e o método que se faz pelo estiramento da armadura ativa dentro do regime elástico, antes que haja a aderência entre o concreto e a armadura ativa. Terminado o estiramento o concreto acrescentado cobrindo a armadura de protensão dá-se a forma desejada à peça. Decorridas algumas horas ou dias, tendo o concreto alcançado a resistência mínima necessária, o esforço que estirou a armadura é removido, o que faz com que a armadura transfira esforços de compressão ao concreto ao tentar voltar ao seu estado inicial de deformação zero. Esse sistema de protensão é geralmente utilizado na produção intensiva de grande quantidade de peças nas fábricas (TEJEDOR, 2013).

Já no sistema de protensão é a pós-tensão, onde a força de protensão é aplicada após a peça estar concretada e com o concreto com resistência suficiente para receber a força de protensão. Esse sistema é utilizado na produção limitada de peças nas fábricas,

em vigas de pontes, em lajes de pavimento com cordoalhas engraxadas, dentre outras (TEJEDOR, 2013).

2.5. DURABILIDADE E VIDA ÚTIL DO CONCRETO

A durabilidade das construções está diretamente associada ao conhecimento do comportamento dos materiais e componentes das estruturas de concreto. No caso de materiais e componentes “tradicionais”, o conhecimento do seu uso constitui uma fonte preciosa de dados para a estimativa de vida útil destes produtos. No entanto, quando se trata de materiais e componentes de características novas é necessário recorrer a métodos de ensaio que simulem a sua aplicação prática (TEJEDOR, 2013).

2.5.1. Durabilidade do concreto

Nenhum material é considerado indefinidamente durável, pois suas propriedades variam em decorrência da interação da sua estrutura, mais especificamente, da sua microestrutura com o meio ambiente. As variações ocorrem ao longo do tempo e a vida útil de um determinado material se esgota quando suas propriedades tornam seu uso inseguro ou antieconômico (ROQUE, J.A., MORENO JUNIOR, A.L., 2005).

As estruturas em concreto armado devem ser projetadas visando proporcionar segurança e estabilidade durante a vida útil para a qual foram construídas, respeitando-se as condições estabelecidas no projeto e as oferecidas pelo ambiente. (PORTO E FERNANDES, 2015, p. 23).

Conforme a ACI Committee 201 a durabilidade do concreto de Cimento Portland pode ser definida como uma estrutura que tem a capacidade de resistir a intempéries, à abrasão, a ataques químicos ou outros processos de deterioração. Dessa forma o concreto manterá sua forma, qualidade e capacidade de uso original quando exposto ao ambiente ao qual o foi originalmente projetado (MEHTA & MONTEIRO, 2008).

Em virtude das ações ambientais, nenhum material consegue ser durável, tendo em mente que sua microestrutura muda, e conseqüentemente, as propriedades, determinando sua vida útil. Um material chega ao fim de sua vida útil quando suas propriedades se deteriorarem de maneira que o seu uso venha acompanhado da

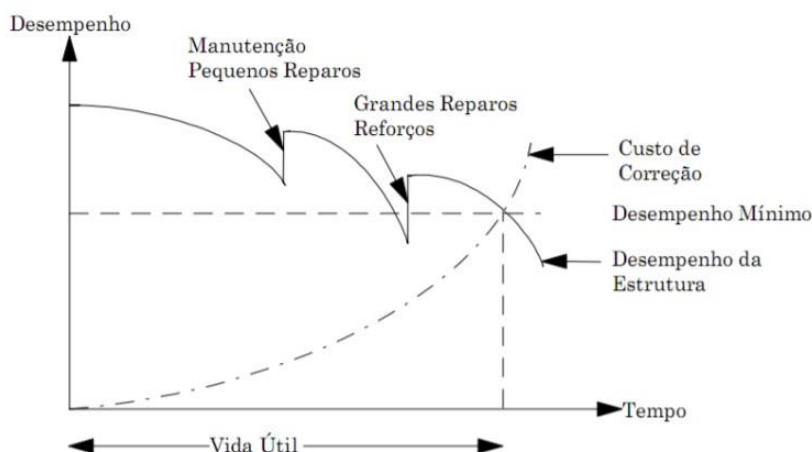
insegurança, além de ser bastante cara sua recuperação (MEHTA & MONTEIRO, 2008).

De modo geral desempenho pode ser definido como o comportamento em uso. No caso de uma edificação pode ser entendido como as condições mínimas de habitabilidade (como conforto térmico e acústico, higiene, segurança, entre outras) necessárias para que um ou mais indivíduos possam utilizar a edificação durante um período de tempo. O desempenho pode variar de um indivíduo para o outro, pois depende das exigências do usuário (na concepção) ou dos cuidados no uso (manutenção). Também depende das condições de exposição do ambiente em que a edificação será construída, como temperatura, umidade, insolação, ações externas resultantes da ocupação etc. O estabelecimento do desempenho de uma edificação se dá por meio de critérios de desempenho que segundo a ABNT/NBR 15575-1:2013 são especificações quantitativas dos requisitos de desempenho (qualitativos), expressos em termos de quantidades mensuráveis, a fim de que possam ser objetivamente determinados.

Os fatores que influenciam na durabilidade das estruturas de concreto, seja ela o meio ambiente em que o concreto será utilizado, a boa especificação, a baixa permeabilidade, e a execução e utilização das estruturas. O fator água/cimento rege as características do concreto, como densidade, compacidade, porosidade, permeabilidade, capilaridade, resistência mecânica. As características citadas acima são indicadores de qualidade do material, ou seja, passo inicial para classificar se uma estrutura é durável ou não (RIPPER & SOUZA, 1998).

2.5.2. Vida Útil

O conceito de vida útil aplica-se à estrutura como um todo ou às suas partes. Dessa forma, determinadas partes das estruturas podem merecer consideração especial com valor de vida útil diferente do todo, como, por exemplo, aparelhos de apoio e juntas de movimentação, conforme observa-se no Gráfico 1.

Gráfico 1 - Gráfico de Vida Útil

Fonte FB Laudos de Engenharia

Outro termo importante que é necessário caracterizar é “vida útil”. A estrutura, ao decorrer de sua vida útil, estará naturalmente sujeita ao “desgaste”, devido à ação de cargas e sobrecargas, estáticas, dinâmicas, vibrações, impactos, assim como a recalques diferenciados em pontos da fundação com o decorrer dos anos, erosão e cavitação por ação de agentes sólidos e líquidos em reservatórios, canais, tanques. Isto leva a definir “vida útil” como o tempo que a estrutura conserva seus índices mínimos de resistência e funcionalidade. Prolongar este tempo ao máximo é um dos desejos de quem trabalha com construções de edificações (manual MT/DNIT/IPR 2010).

A vida útil de projeto, entende-se o período de tempo durante o qual se mantêm as características das estruturas de concreto, sem intervenções significativas, desde que atendidos os requisitos de uso e manutenção prescritos pelo projetista e pelo construtor, bem como de execução dos reparos necessários decorrentes de danos acidentais. (ABNT/NBR 6118:2114)

A ABNT/NBR 6118:2014 define o que são elementos de concreto armado: “são aqueles cujo comportamento estrutural depende da aderência entre concreto e armadura, e nos quais não se aplicam alongamentos iniciais das armaduras antes da materialização dessa aderência”.

Também definem vida útil: “por vida útil de um material entende-se o período durante o qual as suas propriedades permanecem acima dos limites mínimos especificados. O conhecimento da vida útil e da curva de deterioração de cada material ou estrutura são fatores de fundamental importância para a confecção de orçamentos

reais para a obra, assim como de programas de manutenção adequados e realistas”. (SOUZA e RIPPER,1998)

Segundo MEDEIROS *et al* (2011), atualmente, nos estudos de durabilidade, é indispensável à separação dos ambientes agressivos à armadura dos ambientes agressivos ao concreto, visto que a armadura da estrutura como um todo depende da resistência do concreto, da resistência da armadura e da resistência da própria estrutura, pois qualquer um que se deteriore comprometerá todo o conjunto.

O conhecimento da durabilidade e previsão da vida útil das estruturas de concreto são fundamentais para auxiliar na previsão do seu comportamento a longo prazo, prevenir manifestações patológicas precoces nas estruturas e contribuir para a economia e sustentabilidade no setor (MEDEIROS *et al.*, 2011, apud Silva 2011).

De modo geral a ABNT/NBR 6118:2014 define que durabilidade é o resultado da interação entre a estrutura de concreto, as condições ambientais e as condições de uso, de operação e de manutenção da mesma. Esta mesma norma estipula que as estruturas de concreto devem ser projetadas e construídas de modo que, sob as condições ambientais previstas na época do projeto e quando utilizadas conforme preconizado em projeto, conservem sua segurança, estabilidade e aptidão em serviço durante o prazo correspondente à sua vida útil.

2.5.3. Resistência

A resistência consiste na capacidade de um material resistir à tensão sem ruptura, a ruptura às vezes é identificada pelo surgimento de fissuras. No concreto, a resistência é relacionada com a tensão requerida para causar ruptura no qual a tensão aplicada atinge o valor máximo. O índice geral da resistência do concreto aos 28 dias é obtido por meio do ensaio de compressão uniaxial, nesse ensaio o corpo-de-prova é considerado rompido mesmo quando não há sinal de fratura externa visível, porém a fissuração interna é muito avançada, de tal forma que a amostra é incapaz de suportar maior sem fratura-se (MEHTA & MONTEIRO, 2008).

2.6. MATERIAIS EMPREGADOS

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. É importante que a caracterização dos materiais componentes do concreto esteja em conformidade com o que recomenda a (ABNT/NBR 12654:1992).

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. 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 expansivas com os álcalis do cimento podem ser bastante deletérias 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 (ANDRADE & SILVA, 2005, apud Silva 2011).

A água é um elemento do concreto de fundamental importância, logo se faz necessária à sua análise antes de sua utilização, pois aspectos como contaminação com cloretos, sulfatos, álcalis, teor do pH, entre outros fatores, podem prejudicar o desempenho do concreto ao longo do tempo. Ressalta-se que quando necessário o uso de aditivos no concreto é de fundamental importância analisá-los quanto à possível contaminação com cloretos. Por último, 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 (ANDRADE & SILVA, 2005, apud Silva 2011).

Para SOUZA e RIPPER (1998), a etapa de execução da estrutura é responsável por boa parte dos problemas patológicos. A ocorrência dos erros é, basicamente, devido ao processo de produção, que é bastante prejudicado, por muitas vezes refletir os problemas socioeconômicos, que provocam a baixa qualidade técnica dos trabalhadores menos qualificados. Assim como, também, a falta de uma fiscalização eficiente e um

fraco comando de equipes, podem, com facilidade, levar a falhas graves em determinadas atividades como, escoramentos, fôrmas, posicionamento e qualidade das armaduras, qualidade do concreto, entre outras.

2.7. LEI DOS 5 OU REGRA DE SITTER

O plano de manutenção se faz necessário, bem como a sua frequência, periodicidade das atividades, uma das funções desse plano é diminuir os custos com manutenção preventiva. A demora em iniciar a manutenção de uma obra torna os reparos mais trabalhosos e onerosos (clube do concreto et al Helene 1997).

Do ponto de vista econômico, (clube do concreto et al Helene 1997) ressalta que os custos de intervenção na estrutura, para atingir um certo nível de durabilidade e proteção, crescem exponencialmente quanto mais tarde for essa intervenção e que a evolução desse custo pode ser assimilada ao de uma progressão geométrica de razão 5, conhecida por “Lei dos 5” ou regra de Sitter, representada na Gráfico 2, que mostra a evolução dos custos em função da fase da vida da estrutura em que a intervenção seja feita.

Gráfico 2- Regra dos 5



Fonte - Clube do concreto

2.8. NORMAS TÉCNICAS

A normatização brasileira, nos moldes que é conhecido hoje, foi criada no ano de 1940, nomeada ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) com a primeira norma NB-1. Atualmente são várias as normas existentes que regulam os mais diversos procedimentos. Tratando-se de concreto armado, podemos destacar algumas normas técnicas principais, (GONÇALVES et al, 2015):

- ABNT/NBR 6118:2014: Projeto de estruturas de concreto – Procedimento;
- ABNT/NBR 14931:2003: Execução de estruturas de concreto – Procedimento;
- ABNT/NBR 6120:1980: Cargas para o cálculo de estruturas de edificações;
- ABNT/NBR 6122:1988: Forças devido ao vento em edificações - Procedimento;
- ABNT/NBR 8681:2003: Ações e segurança nas estruturas – Procedimento;
- ABNT/NBR 9607:1986: Provas de carga em estruturas de concreto armado e protendido;
- ABNT/NBR 7480:1996: Barras e fios de aço destinados a armaduras para concreto armado;
- ABNT/NBR 8548:1984: Barras de aço destinadas a armaduras para concreto armado com emenda mecânica ou por solda - Determinação da resistência à tração;
- ABNT/NBR 12655:1996: Concreto - Preparo, controle e recebimento;
- ABNT/NBR 7211:2005: Agregados para concreto – Especificação;
- ABNT/NBR 12654:1992: Controle tecnológico de materiais componentes do concreto;
- ABNT/NBR 7191:1982: Execução de desenhos para obras de concreto simples ou armado;

2.9. DIAGNÓSTICO DAS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS

Para diagnosticar as manifestações patológicas nas edificações é necessário conhecer suas formas de manifestação, ou seja, os sintomas, bem como os processos de surgimento, os agentes causadores desses processos e definir em qual etapa da vida da estrutura foi criada a predisposição a esses agentes, definindo as origens dessa

manifestação patológica (PIANCASTELLI 2005, apud BRIK, MOREIRA, KRÜGER 2013).

É melhor quando se conseguem detectar estas anomalias o quanto antes, pois menor terá sido a perda e fácil será a sua recuperação, tendo menor custo. Segundo (PIANCASTELLI 2005, apud BRIK, MOREIRA, KRÜGER 2013), adiar uma terapia significa aumentar os custos numa progressão geométrica de razão igual a cinco.

Para se identificar as manifestações patológicas primeiramente é necessário se fazer uma inspeção, ou seja, uma vistoria realizada no local, feita por um profissional habilitado que utiliza ensaios simples e procura obter o maior número possível de informações, tais como identificar a ocorrência da manifestação patológica na edificação através da observação, verificar a gravidade visando à segurança dos usuários, definindo as medidas a serem tomadas, definir a extensão do quadro da manifestação patológica e definir a sequência da vistoria, por meio da utilização dos cinco sentidos humanos (PIANCASTELLI 2005, apud BRIK, MOREIRA, KRÜGER 2013).

O levantamento da história evolutiva do problema, englobando desde a construção, a utilização e a manutenção da edificação, é utilizado quando os dados obtidos na vistoria local não são suficientes para diagnosticar a manifestação patológica. Devem ser utilizadas informações orais recolhidas com usuários, projetistas, construtores, operários, fiscalização e vizinhos; esta prática necessita de técnica, pois cada pessoa tem um interesse em relação à obra. Também devem ser utilizadas as informações formalizadas, que são os projetos, memoriais de cálculos, especificações de serviços e materiais, diários de obra, ensaios de recebimento de material, notas fiscais, contratos de execução de serviços, cronograma físico-financeiro de serviços e caderno de encargos (PIANCASTELLI 2005, apud BRIK, MOREIRA, KRÜGER 2013).

Se ainda assim não for possível identificar o problema, é necessário a elaboração de ensaios complementares que possibilitem a obtenção de maiores informações. Esses ensaios podem ser físicos, químicos ou biológicos, executados em laboratório ou *in loco*, sendo escolhidos de acordo com a manifestação patológica; porém, deve-se conhecer a capacidade de resolução e possíveis erros de cada tipo de ensaio para que se possa

realizar a análise coerente dos resultados (PIANCASTELLI 2005, apud BRIK, MOREIRA, KRÜGER 2013).

Os ensaios realizados *in loco* são os executados diretamente na edificação e podem ser não destrutivos ou destrutivos

2.9.1. Os ensaios não destrutivos são:

- Esclerometria - realiza a avaliação da dureza superficial, identificando a resistência do concreto à compressão - fck;
- Ultrassonografia - realiza a verificação da estrutura interna e faz a estimativa da resistência e do módulo de elasticidade;
- Pacometria - realiza a avaliação do cobrimento da armadura e realiza a estimativa de bitolas;
- Resistividade e potencial eletroquímico - determinam o potencial de corrosão;

2.9.2. Os ensaios destrutivos são:

- Extração de corpos de prova, determinação de resistências, módulo de elasticidade etc.;
- Ensaios de arrancamento, avaliação de aderência entre materiais e estimativas da resistência.

Depois dos processos de identificação das manifestações patológicas é possível fazer o diagnóstico final, sendo este o processo mais importante, pois é a partir dele que se define a que se refere essa manifestação patológica. Se o diagnóstico for equivocado, além de não se resolver o problema, poderá acabar atrapalhando nas análises futuras que serão necessárias para diagnosticar corretamente a manifestação patológica e ainda haverá um grande desperdício de dinheiro, pois na maioria das vezes para se corrigirem as manifestações patológicas há um grande gasto. Após o diagnóstico o profissional tem a escolha de corrigir a manifestação patológica, impedir ou controlar sua evolução, ou apenas estimar o tempo de vida da estrutura, limitando sua utilização ou indicando a demolição (PIANCASTELLI 2005, apud BRIK, MOREIRA, KRÜGER 2013).

2.10. MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM ESTRUTURAS DE CONCRETO

A palavra Patologia é de origem grega (páthos, doença, e lógos, estudo), e é amplamente utilizada nas diversas áreas da ciência, com denominações do objeto de estudo que variam de acordo com o ramo de atividade. Na engenharia o termo patologia está consolidado na área de reabilitação e conservação de edificações/estruturas. Essas patologias podem se manifestar de diversos tipos, tais como: trincas, fissuras, infiltrações e danos por umidade excessiva na estrutura. Por ser encontrada em diversos aspectos, recebe o nome de manifestações patológicas (ALVES et all SILVA, 2012).

Existem várias causas das manifestações patológicas no concreto, bem como para cada uma delas há uma solução mais indicada, tanto pela eficiência dos resultados, como pela questão econômica. No Brasil 51%, das manifestações patológicas ocorrem na execução das obras, conforme observa-se no Gráfico 3, provavelmente pela falta de mão de obra qualificada e pelas técnicas de construção arcaicas, com a preocupação imediata de término da construção, deixando em segundo plano a qualidade final da edificação. (SARTORTI et all SILVA, 2012).

Gráfico 3- Causas das Manifestações Patológicas no Brasil



Fonte - Artigo do 8º Encontro de Engenharia e Tecnologia de Campos Gerais

As manifestações patológicas, são mecanismos de ocorrência, causa, natureza, origens e consequências. Assim se busca peças que tenha durabilidade (aumentando o

custo-benefício do produto usado): produto com vida útil a cima do esperado, mas com a manutenção recomendada pelo fabricante. Assim para se ter a durabilidade aumentada importante depender de alguns fatores que são relevantes:

- Há durabilidade dos materiais e componentes utilizados;
- Às condições de exposição a que está submetido (ao entorno);
- Às condições de uso;
- Às ações de manutenção realizadas.

A utilização da estrutura estará naturalmente sujeita ao “desgaste”, devido à ação de cargas e sobrecargas, estáticas, dinâmicas, vibrações, impactos, assim como a recalques diferenciados em pontos da fundação com o decorrer dos anos a erosão e a cavitação por ação de agentes sólidos e líquidos em reservatórios, canais, tanques. (MAIDEL, ALMEIDA, LIDANI, FLACH, 2009).

Outro motivo capaz de gerar manifestações patológicas em uma estrutura é a ocorrência de catástrofes naturais que, devido ao caráter imprevisível, exige da estrutura uma capacidade resistente significativamente alta, a qual não é normalmente atendida pela capacidade resistente da construção.

A detecção precisa e o controle das manifestações patológicas que afetam as estruturas em questão demandam de determinados procedimentos de inspeção e avaliação que dependerão do tipo e porte da construção. Além disso, devem ser estabelecidos procedimentos e métodos-padrão, no sentido de sistematizar as avaliações estruturais (MAIDEL, ALMEIDA, LIDANI, FLACH, 2009).

2.11. CAUSAS DE DETERIORAÇÃO DAS PONTES DE CONCRETO

As manifestações patológicas podem apresentar inúmeros problemas as estruturas, há depender do seu grau de exposição. A ABNT/NBR 6118:2014, traz em sua edição os mais diversos níveis de agressividade e como se deve executar uma estrutura em concreto armada de acordo com a agressividade do ambiente de exposição.

Existem várias tentativas para classificar as principais causas de deterioração das Obras de arte especiais em concreto armado, o método adotado pelo MT/DNIT/IPR 2010, está baseado na proposta RILEM, *Réunion International des Laboratoires d'Essais et des Recherches sur les Matériaux et les Constructions*.

Segundo o manual MT/DNIT/IPR 2010, os principais fatores que podem provocar a deterioração das obras de arte especial em concreto armado são divididos em 5 grupos:

- Fatores intrínsecos;
- Fatores resultantes do tráfego rodoviário;
- Fatores ambientais;
- Fatores resultantes do tipo e intensidade da manutenção;
- Fatores correlacionados à atividade humana.

2.11.1. Fatores intrínsecos

O manual MT/DNIT/IPR 2010 afirma que esse fator é inerente da própria estrutura de concreto armado, podemos dizer que esses problemas irão surgir com o tempo, porém esse fator pode se desencadear de forma precoce na estrutura.

Também conforme MT/DNIT/IPR 2010 os principais fatores que influenciam nesse processo intrínseco, são: idade e a qualidade do concreto; influem na qualidade do concreto a qualidade e a quantidade do cimento, a qualidade dos agregados, os aditivos e adições e principalmente, a relação água/cimento. Pois a escolha adequado dos materiais e a dosagem de forma adequada irão permitir um concreto de boa qualidade, com o objetivo esperado, que é garantir a segurança, outras características indispensáveis para a durabilidade como: porosidade, permeabilidade, densidade, compacidade e baixa fissuração.

2.11.2. Fatores resultantes do tráfego rodoviário

Conforme o manual MT/DNIT/IPR 2010, atualmente os fatores resultantes do tráfego rodoviário, são um dos fatores externos que mais influenciam no processo de comprometimento das obras de artes especiais, esses fatores são influenciados pelas; cargas rodoviárias e a velocidade dos veículos têm crescido continuamente, enquanto que a distância entre eixos tem diminuído; muitas pontes não conseguem suportar, sem danos, esta evolução, principalmente pelo grande aumento dos efeitos dinâmicos.

As cargas rodoviárias atualmente vêm sofrendo uma majoração provocando um desgaste da pavimentação, o aumento dos efeitos da fadiga, apressando a fissuração e o desgaste das juntas de dilatação e dos aparelhos de apoio.

2.11.3. Fatores ambientais

Para o manual MT/DNIT/IPR 2010, o fator ambiental tem sua origem climática e atmosfera, esses fatores associados vão gerar um comprometimento nas estruturas das obras de artes especiais. As variações climáticas e ambientais tais como: variações sazonais e diárias de temperatura, tempestades e pressão do vento, são independentes da atividade humana, outros fatores também influenciam diretamente no processo de deterioração das obras de artes especiais, como poluição atmosférica, chuva ácida, águas poluídas por produtos químicos, dos rios e subterrâneas, são de responsabilidade humana e degradam tanto as superestruturas como as infraestruturas.

2.11.4. Fatores resultantes do tipo e intensidade da manutenção

O manual MT/DNIT/IPR 2010, afirma que além dos fatores já mencionados, juntamente com a falta de manutenção são fatores decisivo que influenciam no processo de segurança e durabilidade das estruturas. O Processo de manutenção seja ele, preventiva ou corretiva, implicando diretamente no aumento da vida útil das estruturas. A manutenção de rotina quando inadequada e insuficiente permite a degradação da estrutura, ainda que ela tenha sido bem construída, com a utilização de materiais e equipamentos adequados.

2.11.5. FATORES CORRELACIONADOS À ATIVIDADE HUMANA

Os quatro fatores explicitados acima podem, ainda, ser classificados em dois outros grandes grupos, conforme haja ou não a intervenção humana:

- **Fatores objetivos:** fatores independentes da atividade humana no domínio da engenharia de pontes;
- **Fatores subjetivos:** fatores dependentes da atividade humana, na engenharia de pontes e em outros domínios.

2.11.5.1. Fatores intrínsecos

- **Objetivos:**
 - As idades das estruturas das obras de artes especiais.
- **Subjetivos:**
 - Qualidade do projeto;

- Sistema estrutural;
- Adequação do projeto às reais condições de serviço;
- Qualidade dos trabalhos de construção em cada etapa;
- Qualidade dos materiais estruturais;
- Qualidade dos elementos acessórios da ponte, tais como juntas de dilatação, sistema de drenagem etc.

2.11.5.2. Fatores resultantes do tráfego rodoviário

- **Subjetivos:**

- Frequência, velocidade e concentração das cargas rodoviárias, especialmente dos veículos pesados;
- Efeitos dinâmicos, inclusive fadiga;
- Colisões de veículos;
- Sobrecarga e impacto de veículos pesados.

2.11.5.3. Fatores ambientais

- **Objetivos:**

- Fenômenos atmosféricos, tais como chuvas, granizo e neve;
- Variação do nível das águas em rios, estreitos e golfos;
- Matérias flutuantes e pressões nas infraestruturas das pontes;
- Pressão do vento e seus efeitos nas estruturas das pontes e seus elementos secundários;
- Efeitos sísmicos;
- Variações diárias de temperatura;
- Efeitos da insolação não uniforme na estrutura;
- Ações de cloretos e sulfatos de águas marinhas;

- **Subjetivos:**

- Ataque de cloretos;
- Chuvas ácidas;
- Carbonatação: penetração do CO₂ da atmosfera;
- Produtos químicos agressivos em rios e águas subterrâneas;

- Fogo.

2.11.5.4. Fatores resultantes do tipo e intensidade da manutenção

- **Subjetivos:**
- Solução estrutural, materiais e equipamentos disponíveis que facilitam ou não os trabalhos de manutenção;
- Qualidade e frequência das inspeções;
- Qualidade e frequência dos trabalhos rotineiros de manutenção: limpeza, pequenos reparos;
- Renovação de eventuais proteções anticorrosivas;
- Qualidade e eficiência dos sistemas de drenagem;
- Qualidade do pavimento: textura, permeabilidade;
- Estado de eventuais tubulações existentes.

2.12. RECOMENDAÇÕES PARA ESTRUTURAS DURÁVEIS

- Cobrimento normativo das armaduras;
- Cimento e agregados de boa qualidade, compatíveis entre si e com a agressividade do meio ambiente;
- Baixo valor da relação água/cimento;
- Aditivos adequados;
- Dosagem que proporcione baixa porosidade e baixa permeabilidade do concreto;
- Cura prolongada.

Ainda relacionados com as principais causas de deterioração das Obras de Artes Especiais em concreto armado podemos destacar duas causas de grande importância para o aparecimento das manifestações patológicas e consequentemente a diminuição da sua durabilidade, sendo classificadas em (manual MT/DNIT/IPR, 2010):

- Causas Físicas;
- Causas Químicas.

2.13. CAUSAS FÍSICAS DA DETERIORAÇÃO DO CONCRETO

As causas das manifestações patológicas do concreto, como a corrosão das armaduras, podem provocar desagregação e delaminação do concreto, fenômenos físicos (MARCELLI, 2007).

As manifestações patológicas nas estruturas de concreto armado são evidenciadas por trincas e fissuras de vários tipos, são comuns nas estruturas de concreto e são resultantes da fragilidade do concreto, material não resistente à tração. A presença de fissuras em uma estrutura são fatores decisivos para degradação das estruturas (OLIVEIRA, 2012).

Não adianta avaliar somente as trincas e fissuras, é necessário determinar as causas e origens, pois será possível intervir de forma adequada nos danos e consequentemente garantindo uma maior durabilidade e segurança das obras de artes especiais de concreto armado (OLIVEIRA, 2012).

2.13.1. Trincas e Fissuras em Estruturas de Concreto

As fissuras e trincas são manifestações patológicas das edificações observadas em alvenarias, vigas, pilares, lajes, pisos entre outros elementos, são geralmente causadas por tensões dos materiais. Se os materiais forem solicitados com um esforço maior que sua resistência. Conforme sua espessura será classificada como fissura, trinca, rachadura, fenda ou brecha (OLIVEIRA, 2012).

2.13.2. Fissuração

Por definição, segundo a norma DNIT 083 (2006), a trinca é uma fratura linear no concreto; as trincas podem se desenvolver parcial ou completamente ao longo de um elemento estrutural, não havendo uma separação nítida e indiscutível entre trincas e fissuras, tendo essas últimas aberturas menores. A norma da ABNT NBR 9575 (2010) define que as microfissuras têm abertura inferior a 0,05 mm, as fissuras têm aberturas de até 0,5 mm e, por fim, as trincas têm aberturas maiores de 0,5 mm e menores de 1,0 mm.

No concreto armado, a fissuração das estruturas é inevitável e inerente a própria técnica de dimensionamento como pregam as normas e regulamentos. (Alves et al,

2012) descreve que concreto é um material com baixa resistência à tração e as fissuras inerentes a essa solicitação são comuns e, já no caso de fissuras por compressão, o estado da estrutura é mais crítico, pois o concreto está sob efeito de esmagamento e ruptura frágil.

Entretanto, segundo o Manual do DNER (1994) elas passam a se constituir em manifestações patológicas quando apresentam abertura superior aos valores admissíveis ou quando não são originárias do funcionamento normal da peça estrutural.

Dentre todas as manifestações patológicas, exceto no caso de deformações muito acentuadas, é a que, segundo SOUZA e RIPPER (1998), mais chama a atenção dos leigos, proprietários e usuários aí incluídos, para o fato de que algo de anormal está a acontecer. A norma para projetos de estruturas de concreto, ABNT/NBR 6118:2014, descreve limites de abertura de fissuras segundo a classe de agressividade do meio onde a estrutura se encontra.

As manifestações patológicas do tipo fissuras podem ter suas diversas causas, como por movimentação térmica, movimentação higroscópica, por atuação de sobrecargas, por deformação excessiva de estruturas, por recalque de fundações.

2.13.3. As Fissuras Comuns

Para OLIVEIRA, 2012 aparecimento de fissuras em uma estrutura e um dos problemas, mais comuns em uma estrutura de concreto armado, são a porta de entrada para diversos agentes agressivos que podem prejudicar tanto o concreto e principalmente o aço.

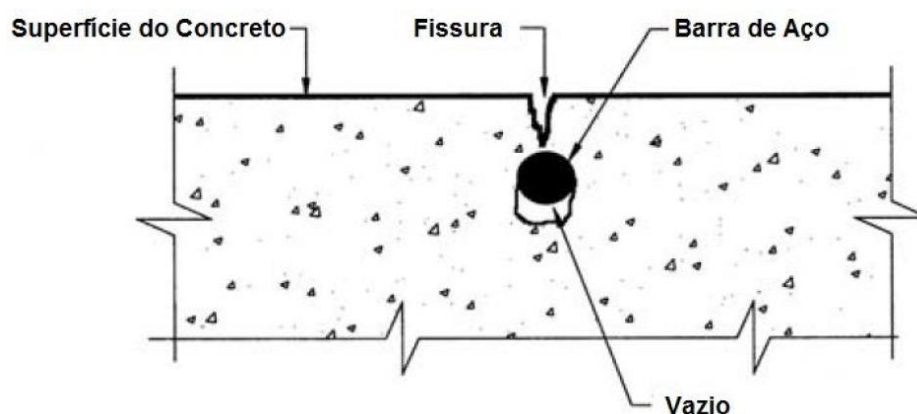
2.13.3.1. Fissuras de retração plástica e assentamento plástico

Ocorrem antes do endurecimento do concreto e ambas estão associadas com a exsudação. Segundo o Manual do DNIT (2004), as fissuras de retração plástica surgem logo após o adensamento e acabamento da superfície horizontal do concreto. Ela é provocada pela rápida perda da água de amassamento, que ocorre por absorção excessiva das formas ou principalmente pela evaporação. Após o lançamento e a vibração do concreto, a areia e as pedras, com densidades maiores tendem a descer dentro da pasta de cimento, com densidade menor, ocorrendo então o chamado auto-adensamento dos sólidos. Parte da água (a que não está reagindo com o cimento), com

a menor densidade dentre os citados, sobe, e aflora na superfície da laje. Com a evaporação, o concreto tem seu volume reduzido na superfície e, devido a restrições à variação volumétrica, fissura.

Já a fissuração por assentamento plástico, Figura 2, ocorre sempre que este movimento natural da massa, resultante da ação da força da gravidade, é impedido pela presença de fôrmas ou de barras da armadura (SOUZA e RIPPER (1998).

Figura 2 - Fissura por Retração Plástica



Fonte - Alves 2012

2.13.3.2. Fissuras de retração térmica

As fissuras de retração térmica podem ser de origem interna ou externa. As de origem interna estão associadas à liberação de calor das reações exotérmicas de hidratação do cimento. Estas ocorrem nas primeiras idades do concreto (entre um dia e três semanas após a concretagem), durante o processo de resfriamento do mesmo (DNIT 2004). Devido ao resfriamento a peça contrai e, se impedida, leva a fissuração. A variação da temperatura ambiente provoca movimentação de contração e dilatação nas peças das estruturas, que se impedidos geram fissuras de retração térmica de origem externa. Segundo SOUZA e RIPPER (1998), a instauração de diferentes estados de tensão em diferentes seções de uma mesma peça estrutural e a criação de um estado de sobre tensão gerado por contração ou dilatação térmica, são situações que normalmente geram fissuração.

As trincas em elementos estruturais de concreto armado sempre inspiram maiores cuidados na análise das causas e nas soluções possíveis. Algumas fissuras podem ser desprezadas ou simplesmente colmatadas após um correto diagnóstico dos motivos que a geraram, como veremos mais adiante; outras, por sua vez, deverão receber um tratamento especial para resolver o problema corretamente. (MARCELLI, 2007, P. 95).

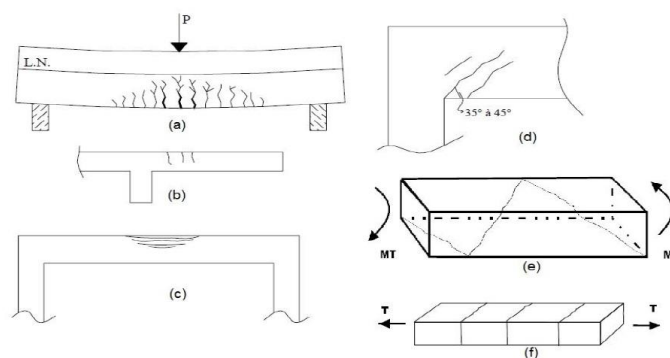
2.13.3.3. Fissuras devidas à ação dos carregamentos/sobrecargas

A atuação de sobrecargas, previstas ou não em projeto, pode produzir a fissuração de componentes de concreto armado sem que isto implique, necessariamente, ruptura do componente ou instabilidade da estrutura. Entretanto o mesmo autor enfatiza que o raciocínio exposto anteriormente não pode ser estendido de forma indiscriminada, já que existem casos em que é limitada a possibilidade de redistribuição das tensões geradas pelas fissuras. O Manual do DNIT (2004), descreve que quando estas fissuras se apresentam com aberturas superiores aos limites permitidos normalmente está-se diante de uma das seguintes situações:

- Erro de dimensionamento da quantidade de armação;
- Carregamentos superiores aos previstos em projeto;
- Funcionamento da estrutura em desacordo com o modelo que serviu para análise da mesma.

Para essas situações, a fissura gerada pelas solicitações de tração, de flexão, de cisalhamento, de torção e de punção geralmente tem características bem definidas Figura 3.

Figura 3 - Fissuras por Sobrecargas



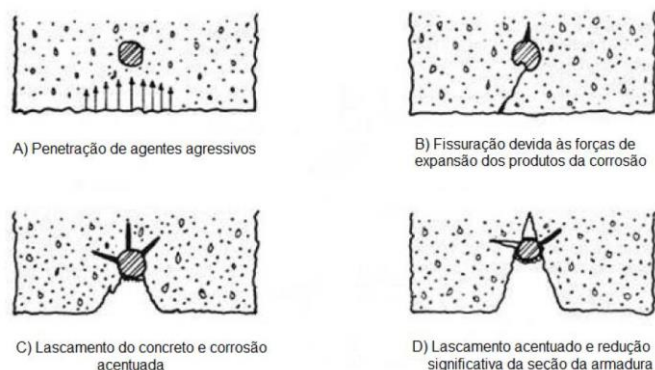
Fonte - Alves 2012

2.13.3.4. Fissuras devidas a corrosão das armaduras

A corrosão da armadura, como já dito anteriormente, é a mais generalizada das manifestações patológicas do concreto. Com o aumento do volume da armadura

decorrente da corrosão, é gerada uma tensão no interior da peça, originando fissuras longitudinais paralela à armadura corroída, Figura 4.

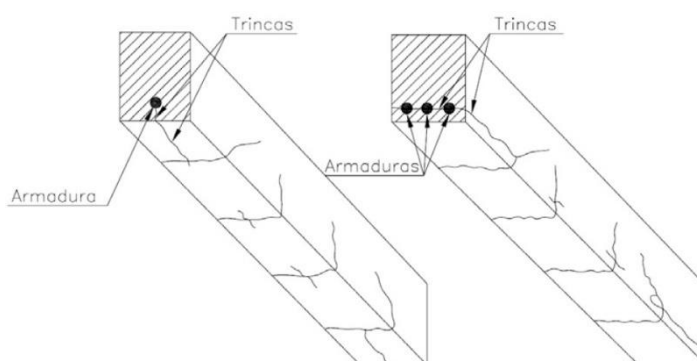
Figura 4 - Deterioração progressiva devido à corrosão das armaduras



Fonte - Alves 2012

Tais fatos podem gerar esforços radiais que exercem pressões de expansão superiores a 15 Mpa Figura 5. Devido a tais esforços, pode-se chegar até ao lascamento da estrutura. (ALVES et al, 2012).

Figura 5 - Corrosão das armaduras



Fonte - MT/DNIT/IPR 2004

2.14. CAUSAS QUÍMICAS DE DETERIORAÇÃO DO CONCRETO

As manifestações patológicas do concreto de origem química são praticamente decorrentes de falhas humanas, ocorridas desde a fase inicial de projeto, prolongando-se durante a execução da obra e estendendo-se ao longo da vida útil da estrutura, (manual MT/DNIT/IPR 2010).

2.14.1.Principais Causas Químicas

- Ataques de sulfatos;

- Ataques de cloretos;
- Carbonatação do concreto;
- Reação álcali-agregado;
- Agressividade do meio ambiente;
- Corrosão do concreto;
- Corrosão das armaduras;
- Lixiviação/Eflorescência.

2.14.1.1. Ataques de sulfatos

O ataque por sulfato nas estruturas de concreto não compreende somente a expansão e conseqüentemente a fissuração do concreto, mas também vale ressaltar a sua perda de resistência do concreto devido à perda de coesão na pasta de cimento e à perda de aderência entre a pasta e as partículas de agregado (NEVILLE, 1997).

Deste modo, Mehta e Monteiro (2008) destacam duas formas de ataque: expansão (com conseqüente fissuração, aumentando a permeabilidade do concreto e facilitando a penetração de águas agressivas) e perda progressiva de resistência simultânea à perda de massa (devido à perda da coesão dos produtos de hidratação).

As reações por ataques dos sulfatos podem ser evitadas com a utilização de cimentos adequados, tais como o Cimento Portland resistente a sulfatos, Cimento Portland pozolânico e Cimento Portland de alto forno.

2.14.1.2. Ataques de cloretos

Segundo (POLITO 2006), os cloretos podem ter sua origem no cloreto de sódio, conhecido como sal de cozinha, existente em regiões marinhas, no próprio cimento utilizado, nos aditivos, nos agregados mal lavados, na água da mistura e na água usada na cura do concreto.

A ação dos íons cloretos (CL-) nas estruturas de concreto armado é um consenso entre todos os autores pesquisados. Pois a corrosão nas armaduras devido a ação dos cloretos é apontada entre a mais grave e sua evolução e forma muito rápida.

Os íons cloreto apresentam a capacidade de romper a camada passivadora que protege as armaduras em estruturas de concreto, ao mesmo tempo em que facilitam a

dissolução do cimento. Dessa maneira, expõem a armadura a variados mecanismos de deterioração que, em geral, são processos puramente químicos ou eletroquímicos.

O processo de corrosão causa o aumento de volume da armadura oxidada causa um aumento de tensões radiais em torno da armadura que produzem trincas radiais no concreto; estas trincas podem propagar-se ao longo da armadura e, em um conjunto de barras paralelas, podem provocar a delaminação do concreto.

A prevenção contra-ataques de cloretos faz-se com a dosagem de um concreto denso e utilizando-se agregados bem lavados, cimento com porcentual baixo de cloretos, aditivos selecionados e água de boa qualidade.

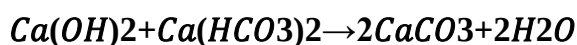
Os íons de cloreto podem chegar até o concreto de diversas formas. Segundo POLITO et all FIGUEIREDO (2006) são:

- Uso de aceleradores de pega que contêm CaCl_2 ;
- Na forma de impurezas dos agregados e da água de amassamento;
- Atmosfera marinha;
- Água do mar;
- Sais de degelo;
- Processos industriais.

2.14.1.3. Carbonatação do concreto

Para (POLITO et all CASCUDO 2006), o processo de carbonatação, ou seja, por ação do gás carbônico que normalmente originários pela queima do combustível, como os hidrocarbonetos (gasolina e óleo) e carvão. Em condições normais no meio ambiente o gás carbônico não costuma ser corrosivos aos materiais metálicos.

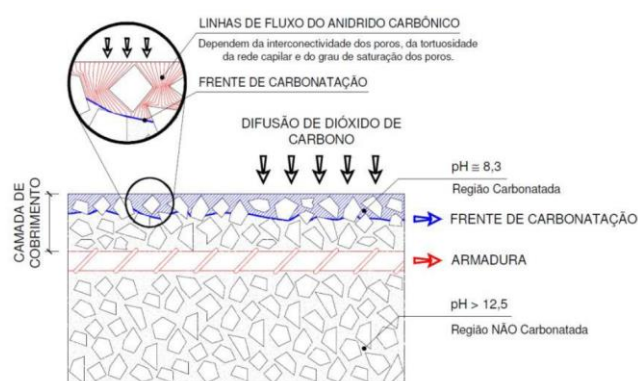
Basicamente as reações químicas da carbonatação, são baseadas na transformação de alguns minerais constituintes da pasta de cimento hidratado em sais carbonatados, mas a principal reação da carbonatação é da transformação do hidróxido de cálcio em carbonato de cálcio apresentado na equação.



A carbonatação no concreto ocorre com formação do ácido carbônico (H_2CO_3), um ácido fraco, a formação desse ácido ocorre pela reação do gás carbônico presente na atmosfera e pela umidade presente no concreto, essa reação ocasiona a carbonatação do

concreto, juntamente com o carbonato de cálcio resultante da carbonatação pode ocorrer reação de formação de bicarbonatos, que devido ao seu comportamento ácido, provocando, eventualmente, um decréscimo crítico na alcalinidade o valor do pH cai, de 13 para um valor em torno de 9, que, normalmente é insuficiente para proteger a armadura contra a corrosão; a profundidade da carbonatação aumenta com o tempo e as armaduras deixam de estar passivadas, Figura 6.

Figura 6 - Processo de Carbonatação



Fonte - 4ª Expo-Pavimentação

A velocidade de carbonatação depende principalmente da temperatura e umidade relativa do ar, porosidade e incidência de fissuras ou lixiviação no concreto, tipo de meio ambiente/teor de CO_2 do ar. Como as reações de carbonatação dependem da presença de água e de oxigênio, a frente de carbonatação avançará com maior velocidade nos casos em que os poros possam estar parcialmente ocupados por ar e parcialmente por água, verificando-se os casos mais graves para umidade relativa do ar da ordem de 50% a 60%.

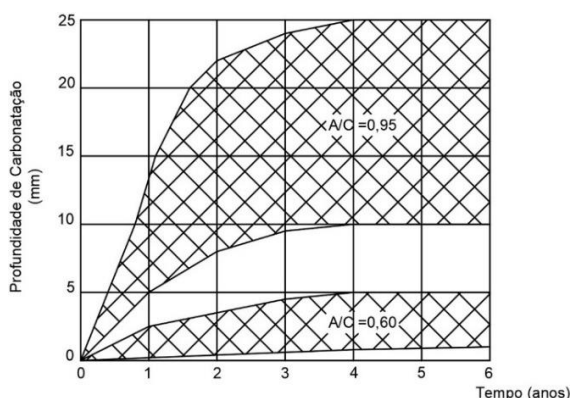
É um dano difícil de ser visualizado numa inspeção. Para ser detectado faz-se necessário o uso de um ensaio simples, com a aplicação de fenolftaleína com indicador na superfície recém fraturada do concreto. A parte do concreto carbonatada fica incolor ($\text{pH} < 9$) e a parte não carbonatada adquire a cor vermelha – carmim, Figura 7.

Figura 7 - Alcalinidade do Concreto

Indicador de pH	Intervalo de mudança de cor	Preparo de Solução
Fenolftaleína	 Incolor/vermelho carmim Faixa de pH 8,3 – 10,0	Dissolver 10g de reagente em 700ml de etanol e depois diluir em 300 ml de água destilada

Fonte - 4ª Expo-Pavimentação

As medidas preventivas consistem em dificultar o ingresso dos agentes agressivos ao interior do concreto. O cobrimento das armaduras e o controle da fissuração minimizam este efeito, sendo recomendável um concreto de baixa porosidade, conforme Gráfico 4, a reação água cimento está relacionada diretamente na profundidade de carbonatação.

Gráfico 4–Profundidade de Carbonatação em função do tempo e da relação água/cimento

Fonte – livro Corrosão em Estruturas de concreto armado (Cap. 6, 2014).

2.14.1.4. Reação álcali-agregado

É a expansão por ação das reações entre os álcalis do concreto e agregados reativos. O projetista deve identificar no projeto o tipo de elemento estrutural e sua situação quanto à presença de água, bem como deve recomendar as medidas preventivas, quando necessárias, de acordo com a ABNT/NBR 15577-1:2013.

Segundo Ribeiro e Cunha 2014 apud Calisto, Bonfin e Wood 2017 as reações álcali-agregados (RAA) são reações químicas, que se desenvolvem entre constituintes reativos dos agregados e íons alcalinos e hidroxilos presentes na solução intersticial da pasta de cimento.

Essas reações possuem como característica principal a grande expansão, causando tensões internas no concreto, como consequência temos a sua fissuração. Também podem surgir eflorescências e exsudações na superfície do concreto.

Devido ao intenso quadro fissuratório, a RAA favorece a instalação de outros problemas como a carbonatação e a corrosão de armaduras.

Existem três tipos distintos de RAAs, sendo elas: reações álcalis-sílica (RAS), reações álcalis-silicato e reações álcalis-carbonato.

A reação álcalis-sílica é o tipo mais comum de RAA. Trata-se de reação entre a sílica reativa, instável em meio de elevado pH, presente nos agregados e os íons alcalinos (Na^+ e K^+) e hidroxilos (OH^-) presentes na solução intersticial da pasta de cimento. Assim, forma-se o gel de silicato alcalino. A velocidade desta reação depende da concentração de hidróxidos alcalinos na solução intersticial.

Os íons cálcio (Ca^{2+}) provenientes da portlandita (hidróxido de cálcio) formada pelas reações de hidratação do cimento, penetram no gel de silicato gerando géis de silicatos de cálcio, sódio e potássio. Estes são capazes de absorver moléculas de água e expandir, gerando forças expansivas.

A reação álcalis-silicato tem mecanismos similares a RAS, contudo de velocidade mais lenta.

Ainda, conforme Ribeiro e Cunha 2014 apud Calisto, Bonfin e Wood 2017 a reação álcalis-carbonato é uma desdolomitização, ou seja, decomposição do carbonato duplo de cálcio e magnésio (dolomita) por ação da solução intersticial alcalina, a qual origina um enfraquecimento da ligação pasta de cimento-inerte.

Nesta reação não há formação de géis expansivos. Portanto, a expansão é atribuída à absorção de íons hidróxilos pelos minérios da argila.

Para ocorrer RAA é necessário: umidade elevada, alcalinidade suficientemente elevada da solução intersticial, existência de inertes reativos. Ainda, quanto maior a temperatura maior a expansão. Também, a força de expansão é maior à medida que diminui a superfície específica do material.

Há vários sinais que indicam a existência da reação álcali-agregado, mas a identificação positiva somente pode ser feita em testes de laboratório, com testemunhos extraídos da peça estrutural sob suspeita.

Alguns dos sinais que denunciam a existência de reação álcali-agregado são citados a seguir:

- Presença de gel exsudando das trincas;
- Fragmentos cônicos, quebrados da superfície do concreto pela pressão interna da reação;
- Umidade persistente, descoloração do concreto;
- Movimentação de trechos fraturados do concreto, podendo ser bem pronunciada, se a reação álcali-agregado for muito acentuada.

A reação álcali-agregado é um fenômeno que ocorre a longo prazo, podendo levar vários anos para manifestar-se, (manual MT/DNIT/IPR, 2010).

2.14.1.5. Agressividade do meio ambiente

O meio ambiente contribui em inúmeros fatores para o processo de degradação do concreto armado além do ataque de sulfatos e cloretos, a agressividade do meio ambiente pode manifestar-se pela poluição atmosférica, através do dióxido de carbono e das chuvas ácidas, que encurtam a vida útil da estrutura, quando penetram em trincas e fissuras pré-existentes.

Um dos fatores que contribui e muito para o ataque do cloreto e sulfato são as variações bruscas de temperaturas, principalmente uma chuva fria logo após uma forte e continuada exposição ao sol quente, pode provocar trincas e fissuras; analogamente, a alternância de superfícies úmidas e secas.

Em países de clima mais frio, neve e gelo podem reduzir a durabilidade da estrutura, (manual MT/DNIT/IPR, 2010).

Com base nesse processo de agressividade ambiental a ABNT/NBR 6118:2014 traz várias considerações que devem ser levado em consideração na elaboração do projeto, pois conforme o grau de agressividade ambiental, Conforme observa-se na Tabela 1.

Tabela 1- Classe de Agressividade Ambiental

Classes de Agressividade Ambiental (CAA)			
Classe de agressividade ambiental	Agressividade	Classificação geral do tipo de ambiente para efeito de projeto	Risco de deterioração da estrutura
I	Frac	Rural	Insignificante
		Submersa	
II	Moderada	Urbana ^{a, b}	Pequeno
III	Forte	Marinha ^a	Grande
		Industrial ^{a, b}	
IV	Muito forte	Industrial ^{a, c}	Elevado
		Respingos de maré	

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

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

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

Fonte – ABNT NBR 6118/2014

A norma apresenta como deve ser feita barreira de proteção física do aço, para evitar possíveis danos a armadura e ao concreto, conforme observa-se na Tabela 2.

Tabela 2 – Correspondência entre a classe de agressividade ambiental e o cobrimento nominal

Tipo de estrutura	Componente ou elemento	Classe de agressividade ambiental			
		I	II	III	IV ^c
		Cobrimento nominal mm			
Concreto armado	Laje ^b	20	25	35	45
	Viga/pilar	25	30	40	50
	Elementos estruturais em contato com o solo ^d	30		40	50
Concreto protendido ^a	Laje	25	30	40	50
	Viga/pilar	30	35	45	55

^a Cobrimento nominal da bainha ou dos fios, cabos e cordoalhas. O cobrimento da armadura passiva deve respeitar os cobrimentos para concreto armado.

^b Para a face superior de lajes e vigas que serão revestidas com argamassa de contrapiso, com revestimentos finais secos tipo carpete e madeira, com argamassa de revestimento e acabamento, como pisos de elevado desempenho, pisos cerâmicos, pisos asfálticos e outros, as exigências desta Tabela podem ser substituídas pelas de 7.4.7.5, respeitado um cobrimento nominal ≥ 15 mm.

^c Nas superfícies expostas a ambientes agressivos, como reservatórios, estações de tratamento de água e esgoto, condutos de esgoto, canaletas de efluentes e outras obras em ambientes química e intensamente agressivos, devem ser atendidos os cobrimentos da classe de agressividade IV.

^d No trecho dos pilares em contato com o solo junto aos elementos de fundação, a armadura deve ter cobrimento nominal ≥ 45 mm.

Fonte - ABNT NBR 6118/2014

2.14.1.6. Corrosão das armaduras

A corrosão das armaduras, certamente, é a mais generalizada das manifestações patológicas do concreto, sendo observada, principalmente, em peças de concreto

aparente. Apresenta-se como o principal mecanismo de deterioração das estruturas de concreto armado, onde se mostra uma viga com corrosão na armadura longitudinal e estribos, devido à exposição ao meio ambiente. Ambientes agressivos, porosidade elevada, alta capilaridade, deficiência no cobrimento, materiais de construção com problemas e fissuração acentuada, são os fatores preponderantes na influência da criação de um estado de corrosão da armadura. (LOURENÇO, ALVES, JORDY, MENDES, 2009).

Corrosão pode ser entendida como a interação destrutiva de um material com o meio ambiente, como resultado de reações deletérias de natureza química ou eletroquímica, associadas ou não a ações físicas ou mecânicas de deterioração. (HELENE, 2014, P. 1).

As armaduras das estruturas de concreto armado estão, em princípio, protegidas por uma camada de óxido conhecida como camada passivadora essa camada protege a armadura contra a corrosão, que é, basicamente, a sua deterioração por ação química ou eletro-química; esta proteção é proporcionada pelo cobrimento, que forma uma barreira física ao ingresso de agentes externos e, principalmente, por uma proteção química, proporcionada pela alta alcalinidade do concreto que favorecem a formação desse filme sobre a armadura, (manual MT/DNIT/IPR 2004).

No caso de armaduras em concreto, os efeitos degenerativos manifestam-se na forma de manchas superficiais causadas pelos produtos de corrosão, seguidas por fissuras, destacamento do concreto de cobrimento, redução da secção resistente das armaduras com frequente seccionamento de estribos, redução e eventual perda de aderência das armaduras principais, ou seja, deteriorações que levam a um comprometimento da segurança estrutural ao longo do tempo, conforme será discutido em detalhes neste livro. (HELENE, 2014, P. 1).

As Fases do Processo de corrosão das Armaduras (Modelo de Tuutti)

O modelo de vida útil de Tuutti apresentam dois períodos bem definidos para o processo de corrosão, período de iniciação e período de propagação conforme observa-se no gráfico 5:

Gráfico 5 - Modelo de Tuutti para a corrosão de armaduras



Fonte – Boletim Técnico Nº 06

Período de Iniciação

Esse período de iniciação começa com a penetração dos agentes agressivos no concreto. As armaduras estão protegidas quando envolvidas em concreto de boa qualidade e com um cobrimento adequado; a proteção é devida à grande alcalinidade do concreto, $\text{pH} = 13$, que permite formar uma fina película protetora em torno da armadura.

Entretanto, esta camada protetora está sob constante ataque de agentes agressivos externos e, às vezes, internos; estes agentes podem ser os cloretos, os sulfatos entre outros.

O período de tempo necessário para romper a camada protetora é chamado de período de iniciação; a duração deste período depende de uma série de fatores:

- Cobrimento: quanto menos espessa a camada, menor é o período de iniciação;
- Qualidade da camada de cobrimento, dependente principalmente da relação água-cimento: o período de iniciação diminui, quando a qualidade do concreto diminui, ou quando a relação água-cimento aumenta;
- Conforme ABNT/NBR 6118:2014 a agressividade do meio ambiente tem um papel preponderante no processo de corrosão das armaduras, a temperatura, umidade e nível de penetração de sulfatos, cloretos e penetração de dióxido de carbono;
- Os mecanismos causadores da corrosão mais comuns são: a carbonatação e a penetração de cloretos são os fatores mais importantes da deterioração.

O período de iniciação, os processos da corrosão não apresentam sinais visíveis de deterioração, tanto no concreto como na armadura; somente ensaios específicos permitem detectar o risco de futuras corrosões, (manual MT/DNIT/IPR 2010).

O Período de Propagação

Esse período se inicia quando a camada protetora da armadura, ou seja, a película passivadora a armadura é rompida, inicia-se o processo da corrosão, classificado como um processo de corrosão eletroquímico – segundo Figueiredo e Meira 2013, afirma que o processo de corrosão eletroquímico, implica na formação e movimentação de particular elétricas na presença de um eletrólito.

De acordo Figueiredo e Meira 2013, na corrosão eletroquímico favorece a formação de uma pilha eletroquímica de corrosão, com presença do ânodo e cátodo. No qual na área anódica ocorre o processo de oxidação, no qual o material metálico passa para o estado iônico; já na região catódica os elétrons gerados pela região anódica são consumidos havendo uma redução.

Lixiviação/ Eflorescência

A lixiviação é o processo de extração de uma substância de um meio sólido por meio de sua dissolução em um líquido. Na construção civil, a lixiviação é uma manifestação patológica que ocorre nas estruturas de concreto, devido à infiltração de água, que dissolve e transporta cristais de hidróxidos de cálcio e magnésio, podendo formar depósitos de sais conhecido como eflorescência. Com a perda de sólidos, a estrutura fica com sua resistência mecânica reduzida e também abre caminho para entrada de gases e líquidos nocivos à armadura e ao próprio concreto, causando dentre outros problemas, a corrosão das armaduras e a carbonatação do concreto (RIBEIRO, SALES, SOUZA E ALMEIDA, 2014).

A eflorescência é a formação de depósitos salinos na superfície do concreto ou argamassas, etc. Como resultado da sua exposição à água de infiltrações ou intempéries. É considerado um dano, por alterar a aparência do elemento onde se deposita. Há casos em que seus sais constituintes podem ser agressivos e causar degradação profunda. A modificação no aspecto visual é intensa onde há um contraste de cor entre os sais e o substrato sobre as quais se deposita. Como exemplo, a formação branca de carbonato de cálcio sobre o concreto cinza (RIBEIRO, SALES, SOUZA E ALMEIDA, 2014).

Quimicamente a eflorescência é constituída principalmente de sais de metais alcalinos (sódio e potássio) e alcalino-ferrosos (cálcio e magnésio, solúveis ou parcialmente solúveis em água). Pela ação da água, estes sais são dissolvidos e migram para a superfície e a evaporação da água resulta na formação de depósitos salinos. Fatores que contribuem para a formação de eflorescências: Devem agir em conjunto:

- Teor de sais solúveis;
- Pressão hidrostática para proporcionar a migração para a superfície;
- Presença de água.

2.15. CAUSAS DE MANIFESTAÇÕES PATOLOGIAS EM PONTES

As pontes são estruturas, inclusive apoios, construídos sobre uma depressão ou uma obstrução, que sustenta uma pista para passagem de veículos e outras cargas móveis, e que tem um vão livre, sujeito a inúmeros problemas patológicos, vamos listar alguns dessas causas conforme, manual MT/DNIT/IPR, 2010.

2.15.1.Fendas e Fissuras

A causa das fendas e fissuras, observado na Figura 8 são de origens diversas, conforme TEJEDOR 2013, podemos listar as principais causas de fendas e fissuras que acometem as obras de artes especiais:

Figura 8– Fendas e Fissuras, pavimento em concreto



Fonte–Próprio Autor

- O incremento de cargas atuantes sobre o tabuleiro;
- Uso de materiais de má qualidade na sua construção;
- A instabilidade elástica (flambagem);

- A manipulação incorreta do concreto originando um material mal vibrado e mal curado;
- A concretagem durante temperaturas extremas;
- Acomodações de deslizamento do terreno;
- As falhas nas concretagens;
- As temperaturas extremas;
- O nascimento de raízes de árvores e arbustos.

2.15.2.Deteriorações em concreto

TEJEDOR, 2013, afirma que existem inúmeros fatores que favorecem a deterioração do concreto e suas armaduras nas obras de artes especiais, conforme observa-se na Figura 9, esse processo de deterioração foi listado por Tejedor abaixo:

Figura 9 –Desplacamento do concreto por corrosão



Fonte – Próprio Autor

- A ausência ou perda de recobrimento nas armaduras, deixando-as expostas
- Impermeabilização incorreta ou ruptura do material vedante;
- Concretagem com temperaturas extremas do ambiente;
- Vibração insuficiente do concreto;
- Má qualidade do concreto;
- Percolação de água;
- Contaminação de agregados;

2.15.3.Ruptura de fundação

- As fundações de pontes e viadutos estão sujeitas a vários fatores de deterioração como podemos citar:

- Execução inadequada;
- Inundações e cheias;
- Ação contínua da água erodindo o terreno que cobre as fundações;
- Projeto subdimensionado;
- Incorreta localização das fundações.

2.15.4.Deslizamento de encontro

- Os encontros das pontes podem sofrer deslizamentos originados em:
- Soluções estruturais mal executadas;
- Ação da água em regime normal ou nas cheias;
- Nascimento de raízes de árvores;
- Deslizamentos de terra.
- Acréscimo expressivo das cargas atuantes;
- Terreno com tratamento prévio insuficiente e mal compactado;

2.15.5.Deteriorações

As deteriorações nas pontes podem ser originadas por:

- Impactos produzidos pelo trânsito: em meio-fio, calçadas, defensas, muretas, etc.;
- Impactos nas vigas devido à insuficiência ou desrespeito do gabarito.
- Ausência de manutenção adequada;
- Desgaste e envelhecimento das estruturas e dos materiais;

2.15.6.Falhas nas juntas

As juntas de uma ponte podem ser afetadas pelas seguintes ações:

- Desgaste ou ausência do material da junta, originados pelo uso ou por uma má conservação, conforme observado na Figura 10.
- Dimensionamento incorreto das juntas da ponte, não se prevendo adequadamente possíveis expansões ou retrações do concreto;
- Impactos de veículos pesados;

Figura 10 - Desgastes das Juntas de Movimentação, falta de manutenção



Fonte – Próprio Autor

2.16. INSPEÇÃO DE ESTRUTURAS

Conforme manual MT/DNT/IPR/2010 a inspeção de estruturas de concreto tem basicamente a finalidade de verificar a segurança quanto à capacidade portante e à durabilidade em serviço. Pois as obras de arte especiais como já mencionado estão sujeitas a inúmeros processo de deterioração seja por causas físicas ou químicas, colocando assim a segurança e a durabilidade como item de grande preocupação.

2.16.1.Procedimentos nas inspeções

Conjunto de procedimentos técnicos e especializados que compreendem a coleta de dados necessários à formulação de um diagnóstico e prognóstico da estrutura, visando manter ou restabelecer os requisitos de segurança estrutural, de funcionalidade e de durabilidade.

2.16.2.Procedimentos gerais

Para ABNT/NBR 9452:2016, a inspeção das obras de artes especiais deve ser elaborada de forma sistemática e organizada, de modo a garantir que todo o elemento estrutural seja inspecionado visando garantir a segurança e a durabilidade da estrutura, para a realização das inspeções devemos seguir os passos para chegar aos objetivos esperados ao final:

- Estar com as fichas adequadas de inspeção para garantirem o perfeito objetivo deste procedimento.
- O conteúdo fotográfico deve ser abrangente e completo:

- Um mínimo de seis fotos deve registrar vista superior, vista inferior, vistas laterais e detalhes de apoios, articulações, juntas, etc.;
- Defeitos eventualmente encontrados em qualquer elemento estrutural devem ser cuidadosamente examinados e registrados para permitir avaliar suas causas.
- Havendo possibilidade, a ponte deve ser observada durante a passagem de cargas pesadas, para verificar se há vibrações ou deformações excessivas.
- Pode ser necessário, e deve ser considerado um procedimento obrigatório, efetuar a limpeza de determinadas áreas da ponte, para verificar se há trincas, corrosões ou outros defeitos encobertos.

2.16.3. Tipos de inspeção

Com base na ABNT/NBR 9452:2016, norma esta que trata de inspeções de pontes, viadutos e passarela em concreto, ela vem normatizar os requisitos exigíveis para realização das inspeções nas obras de artes especiais. De acordo com a ABNT/NBR 9452:2016 as inspeções são divididas em quatro tipos de inspeções, além de classificar os tipos de inspeções a norma traz inúmeros procedimentos a serem adotados, para que se possa classificar a ponte conforme o seu grau de segurança e durabilidade com base nas manutenções realizadas.

- Cadastral;
- Rotineira;
- Especial;
- Extraordinária.

2.16.3.1. Inspeção cadastral

Segundo a ABNT/NBR 9452:2016 deve ser a primeira inspeção a ser realizada na obra e deve ser efetuada imediatamente após sua conclusão, instalação ou assim que se integra a um sistema de monitoramento e acompanhamento viário. Para a norma este tipo de inspeção deve ser realizado também quando houver modificações importantes na obra de arte especial tais como; alargamento, acréscimo de comprimento, reforço, mudança no sistema estrutural.

A neste tipo de inspeção a norma apresenta como dever ser o registro fotográficos da ponte com o objetivo de caracterizar a estrutura e deve ser constituído pelo menos por uma vista geral, pelas vistas superior, lateral e inferior do tabuleiro, dos elementos da mesoestrutura e da infraestrutura, quando aparentes, e os detalhes julgados necessários. As fotos devem permitir a visualização da situação, aspecto geral e esquema estrutural. Deve conter também o registro das anomalias detectadas que comprometam as condições estruturais, funcionais e de durabilidade da obra. As fotos da obra devem ser datadas.

2.16.3.2. Inspeção Rotineira

Conforme manual MT/DNT/IPR/2010 a inspeção rotineira é uma inspeção programada, repetitiva a intervalos regulares, de nível médio, destinada a coletar dados e medições suficientes para determinar as condições físicas e funcionais de uma ponte. A ABNT NBR 9452/2016, afirma que nas inspeções rotineiras devem ser verificados a evolução e o aparecimento de novas anomalias, já observadas em inspeções anteriores, com a finalidade de programar as manutenções nos danos observados na inspeção

Na inspeção rotineira deve ser verificada a evolução de anomalias já observadas em inspeções anteriores, bem como novas ocorrências, reparos e/ou recuperações efetuadas no período.

2.16.3.3. Inspeção especial

Este tipo de inspeção segundo a ABNT/NBR 9452:2016 a periodicidade das inspeções pode ser a cada cinco anos ou a cada oito caso a ponte tenha uma classificação com notas 4 e 5 conforme tabela situado no anexo 1. O manual MT/DNT/IPR/2010, ressalta também que na inspeção especial deve ser de forma minuciosa, geralmente acompanhada de ensaios não destrutivos, pois a finalidade desses ensaios é indicada por um ou vários dos motivos seguintes:

- Relatórios inconclusivos de uma Inspeção Rotineira anterior.
- Pontes particularmente importantes, cuja perda ou interdição seria desastrosa.
- Pontes com sistemas estruturais incomuns, que necessitam de monitoramento.
- Pontes que já apresentaram deficiências anteriormente.
- Pontes que serão reabilitadas, alargadas ou submetidas a maiores cargas.

- Condições ambientais particularmente adversas.

2.16.3.4. Inspeção extraordinária

De acordo com a ABNT/NBR 9452:2016 as inspeções extraordinárias, são realizadas de acordo a uma demanda não programadas, que deve ser efetuada em decorrência de possíveis danos provocados por importantes alterações ambientais ou por acidentes de origem humana, a seguir:

- Necessidade de avaliar com mais critério um elemento ou parte da OAE, podendo ou não ser gerada por inspeção anterior;
- Ocorrência de impacto de veículo, trem ou embarcação na obra;
- Ocorrência de eventos da natureza, como inundação, vendaval, sismo e outros.

Para a ABNT/NBR 9452:2016 a inspeção extraordinária deve ser apresentada em relatório específico, com descrição da obra e identificação das anomalias, incluindo mapeamento, documentação fotográfica e terapia recomendada. Pode ser necessária a utilização de equipamentos especiais para acesso ao elemento ou parte da estrutura

Segundo manual MT/DNT/IPR 2010, as equipes de inspeção extraordinária devem ter a capacidade de avaliar a necessidade de adotar medidas de emergência, tais como a limitação ou mesmo a interrupção do tráfego, bem como indicar as providências mínimas para liberar o tráfego ou a obra.

3. ESTUDO DE CASO

Neste capítulo apresenta-se a metodologia de avaliação e classificação das manifestações patológicas encontradas na estrutura que será analisada neste trabalho.

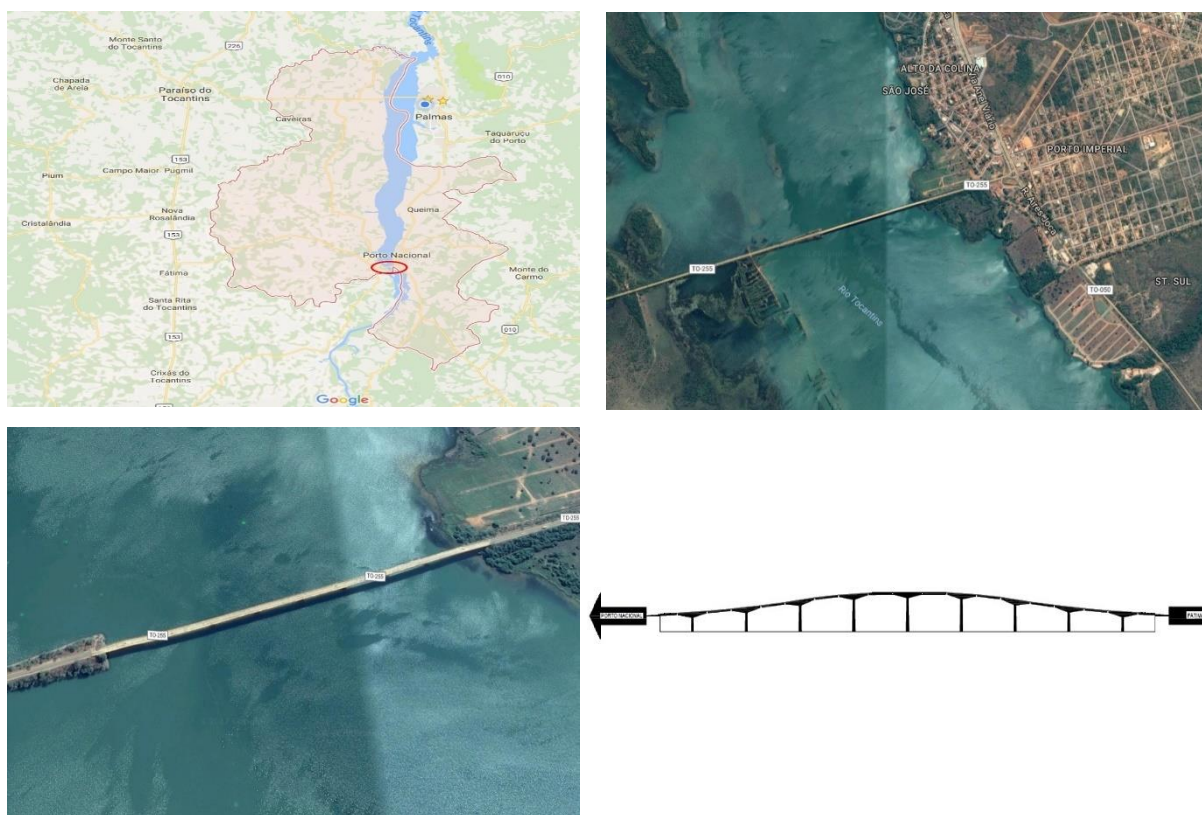
Para a análise da estrutura, estudo deste trabalho, foram realizado visitas técnicas ao local de estudo, foi inspecionado e mapeado as manifestações patológicas, lá encontradas.

O caso estudado neste trabalho científico é verificar as condições atuais da ponte e identificar as manifestações patológicas para classificá-la conforme a ABNT/NBR 9452:0216.

3.1. LOCALIZAÇÃO

A ponte está localizada no município de Porto Nacional no estado do Tocantins, sobre o rio Tocantins, conforme observa-se Quadro 1.

Quadro 1 - Localização da Ponte sobre o Rio Tocantins



Fonte - Próprio Autor

Foi construída no final da década de 70, a ponte possui uma pista com faixa simples para os dois sentidos entre Porto Nacional e Fátima, as dimensões do tabuleiro são de 900 m de comprimento e 13,40 m de largura. O tabuleiro está apoiado em 9 pilares, distantes entre si de 97,80m, e em dois encontros distantes dos pilares adjacentes de 58,80 m.

A superestrutura é formada por caixões, com seção unicelular variável, e grelhas. As grelhas são apoiadas em dois dentes Gerber nas extremidades dos caixões. A estrutura do encontro é um pórtico formado por dois tubulões de um metro de diâmetro e uma viga travessa de seção transversal retangular de 1,2 m x 1 m. Os pilares estão fixados em um bloco de fundação de 10,6m x 8m de base corando cinco tubulões de 1,6 m de diâmetro.

3.2. DIVISÃO DOS TRECHOS

Para a realização deste estudo, o comprimento da ponte foi dividido em 19 trechos, sendo divididos conforme observa-se Tabela 3, estes trechos foram divididos de acordo com a disposição das juntas de movimentação sendo divididas da seguinte forma:

Tabela 3—Distribuições dos Trechos por Distância

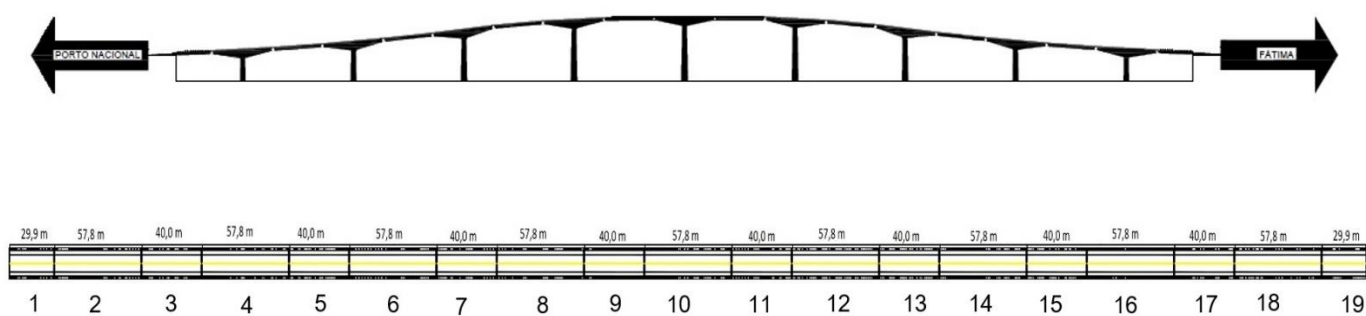
Trecho	Distância do Trecho
01	29,9 m
02	57,8 m
03	40,0 m
04	57,8 m
05	40,0 m
06	57,8 m
07	40,0 m
08	57,8 m
09	40,0 m
10	57,8 m
11	40,0 m

12	57,8 m
13	40,0 m
14	57,8 m
15	40,0 m
16	57,8 m
17	40,0 m
18	57,8 m
19	29,9 m
TOTAL	900 m

Fonte - Próprio Autor

Divisão dos trechos da ponte em planta conforme observa-se na figura 11.

Figura 11 - Ponte em planta divisão dos trechos



Fonte – Próprio Autor

A realização da inspeção da ponte foi realizada no período de 23 a 29 de junho de 2017, seguindo todo um cronograma previamente planejado.

- Dia 23/07 – Inspeção visual a pé ao longo de todos os trechos definidos nos 900 m, realizado medição e marcação dos trechos, identificando os acessos aos caixões para uma inspeção futura da ponte e dos trechos, feito o reconhecimento geral da ponte em estudo.
- Dia 24/07 – Realizado o levantamento da superestrutura da ponte relacionados as condições do pavimento, juntas de movimentação, barreira rígida, guarda corpo e passeio.
- Dia 25/07 – Foram inspecionados os caixões pedidos, a inspeção ocorreu nos caixões que já haviam o acesso facilitado. Na inspeção dos caixões foram identificadas inúmeras manifestações, com uma causa específica umidades excessiva e presença de água. Manifestações bem características tais como, corrosão de armaduras em estágio bem avançado, com pontos de redução da seção original, lixiviação, eflorescência, presença de estalactites e inúmeras fissuras.
- Dia 26/07 - foi realizado um levantamento de todas as informações coletadas nos dias anteriores, para ver se a inspeção da superestrutura e mesoestrutura (caixões estava em ordem), porém identificamos que faltaram algumas informações adicionais, e precisaríamos retornar para complementar as informações coletadas em campo.
- Dia 28/07 – E bom lembrar que neste dia foi realizado uma revistoria a ponte para complementar as informações adicionais em dois trechos específicos, entrar em dois caixões para refazer as medidas e observamos alguns detalhes que faltaram.
- Dia 29/07 – Foi realizado a inspeção complementar da mesoestrutura (pilares). Foi vistoriado todos os 9 pilares a inspeção foi realizada através de barco. Após a vistoria identificamos que todos os pilares apresentam algum grau de comprometimento, sendo os pilares 04, 05, 06, apresentam as piores condições com armaduras exposta, muitas fissuras e agregados aparente.

3.3. MATERIAIS

Para realização da execução do estudo caso de análise, foi necessária a utilização, Escada de 9m, bota impermeável (borracha), calça impermeável, marcara com filtro, capacete, cordas de 10mm (30m), colete sinalizador refletivo, arrombadores de aço (Pé de cabra), lanternas de mão, lanternas de cabeça, luvas de couro, mosquetões, cinto de segurança tipo paraquedista, óculos de proteção, trena manual tipo fita de 20m, trena metal de 3m, trena laser Bosch GLM 50, régua metal 15cm, trena de rodinha, fissurometro, câmera digital profissional Nikon D90, câmera Portátil para capacete (modelo Go Pro), prancheta, cantas esferográficas, lapiseiras 05 pentel GRAPH 600, barco em alumínio de 6m, coletes salva-vidas, carro sedam para transporte, conforme observa-se no Quadro 2;

Quadro 2 - Materiais da Usados na inspeção



Fonte – Próprio Autor

3.4. SUPERESTRUTURA

Conforme a ABNT/NBR 9452:2016, o conceito de superestrutura e os elementos que a compõem seu conjunto de elementos destinados a receber as cargas permanentes e acidentais e transferi-las à mesoestrutura ou diretamente à infraestrutura.

A superestrutura contempla em si os seguintes elementos:

- laje (inclusive de ponte em arco, extradorso, pênsil e estaiada) e placa de pré-laje;
- viga longarina, viga treliçada e viga-caixão;
- viga transversina (exceto quando em caráter de cortina de contenção de aterro dos encontros);
- articulação (dente tipo Gerber, Freyssinet e outros);
- estais;
- viga em arco superior, intermediário ou inferior

3.4.1. Trecho 1 – Pavimento

O trecho 1 representa a saída de Porto Nacional, e o início da ponte sobre o Rio Tocantins, um trecho de pista simples com acostamento.

O trecho em análise possui 29,90 m de extensão com um total de 16 placas de pavimento rígido com dimensões médias de 4,40m X 3,15m, com acostamentos de 1,50 m, e uma proteção com barreira rígida da passarela, passarela com 1,00m

Foi realizado levantamento de campo para determinar as principais manifestações patológicas na superestrutura.

Após o levantamento de campo no trecho 1, foram encontradas inúmeras manifestações patológicas, que estão comprometendo a estrutura da ponte, conforme observa-se no Quadro 3.

Quadro 3 - Deterioração do Trecho 1

Deterioração da OEA sobre o Rio Tocantins – Trecho 1	
	
	
Manifestações Patológicas Encontradas: Fissuras no Pavimento, Barreira rígida danificadas com armaduras exposta. Placas da passarela faltando ou quebradas, juntas de dilatação Deformadas e sem função.	

Fonte – Próprio Autor.

3.4.2. Trecho 2 – Pavimento

O trecho 2, corresponde a uma pista simples com acostamento. Este trecho em análise possui 57,80 m de extensão com um total de 26 placas de pavimento rígido com dimensões médias de 4,40m X 3,15m, com acostamentos de 1,50 m, e uma proteção com barreira rígida da passarela, passarela com 1,00m

Foi realizado levantamento de campo para determinar as principais manifestações patológicas na superestrutura.

Após o levantamento de campo no trecho 2, foram encontradas inúmeras manifestações patológicas, que estão comprometendo a estrutura da ponte conforme observa-se no Quadro 4.

Quadro 4 - Deterioração do Trecho 2

Fonte – Próprio Autor

3.4.3. Trecho 3– Pavimento

O trecho 3, corresponde a uma pista simples com acostamento. Este trecho em análise possui 40,00 m de extensão com um total de 18 placas de pavimento rígido com dimensões médias de 4,40m X 3,15m, com acostamentos de 1,50 m, e uma proteção com barreira rígida da passarela, passarela com 1,00m

Foi realizado levantamento de campo para determinar as principais manifestações patológicas na superestrutura.

Após o levantamento de campo no trecho 3, foram encontradas inúmeras manifestações patológicas, que estão comprometendo a estrutura da ponte conforme observa-se no Quadro 5.

Quadro 5 - Deterioração do Trecho 3

Fonte – Próprio Autor

3.4.4. Trecho 4– Pavimento

O trecho 4, corresponde a uma pista simples com acostamento. Este trecho em análise possui 57,80 m de extensão com um total de 26 placas de pavimento rígido com dimensões médias de 4,40m X 3,15m, com acostamentos de 1,50 m, e uma proteção com barreira rígida da passarela, passarela com 1,00m

Foi realizado levantamento de campo para determinar as principais manifestações patológicas na superestrutura.

Após o levantamento de campo no trecho 4, foram encontradas inúmeras manifestações patológicas, que estão comprometendo a estrutura da ponte conforme observa-se no Quadro 6.

Quadro 6 - Deterioração do Trecho 4



Manifestações Patológicas Encontradas: Fissuras no Pavimento, Barreira rígida danificadas com armaduras exposta, juntas de dilatação Deformadas e sem função.

Fonte – Próprio Autor

3.4.5. Trecho 5– Pavimento

O trecho 5, corresponde a uma pista simples com acostamento. Este trecho em análise possui 40,00 m de extensão com um total de 18 placas de pavimento rígido com dimensões médias de 4,40m X 3,15m, com acostamentos de 1,50 m, e uma proteção com barreira rígida da passarela, passarela com 1,00m

Foi realizado levantamento de campo para determinar as principais manifestações patológicas na superestrutura.

Após o levantamento de campo no trecho 5, foram encontradas inúmeras manifestações patológicas, que estão comprometendo a estrutura da ponte conforme observa-se no Quadro 7.

Quadro 7 - Deterioração do Trecho 5





Manifestações Patológicas Encontradas: Fissuras no Pavimento, Barreira rígida danificadas com armaduras exposta, juntas de dilatação Deformadas e sem função.

Fonte – Próprio Autor

3.4.6. Trecho 6– Pavimento

O trecho 6, corresponde a uma pista simples com acostamento. Este trecho em análise possui 57,80 m de extensão com um total de 26 placas de pavimento rígido com dimensões médias de 4,40m X 3,15m, com acostamentos de 1,50 m, e uma proteção com barreira rígida da passarela, passarela com 1,00m

Foi realizado levantamento de campo para determinar as principais manifestações patológicas na superestrutura.

Após o levantamento de campo no trecho 6, foram encontradas inúmeras manifestações patológicas, que estão comprometendo a estrutura da ponte conforme observa-se no Quadro 8.

Quadro 8 - Deterioração do Trecho 6





Manifestações Patológicas Encontradas: Fissuras no Pavimento, Barreira rígida danificadas com armaduras exposta, juntas de dilatação Deformadas e sem função.

Fonte – Próprio Autor

3.4.7. Trecho 7– Pavimento

O trecho 7, corresponde a uma pista simples com acostamento. Este trecho em análise possui 40,00 m de extensão com um total de 18 placas de pavimento rígido com dimensões médias de 4,40m X 3,15m, com acostamentos de 1,50 m, e uma proteção com barreira rígida da passarela, passarela com 1,00m

Foi realizado levantamento de campo para determinar as principais manifestações patológicas na superestrutura.

Após o levantamento de campo no trecho 7, foram encontradas inúmeras manifestações patológicas, que estão comprometendo a estrutura da ponte conforme observa-se no Quadro 9.

Quadro 9 - Deterioração do Trecho 7





Manifestações Patológicas Encontradas: Fissuras no Pavimento, juntas de dilatação Deformadas e sem função.

Fonte – Próprio Autor

3.4.8. Trecho 8– Pavimento

O trecho 8, corresponde a uma pista simples com acostamento. Este trecho em análise possui 57,80 m de extensão com um total de 26 placas de pavimento rígido com dimensões médias de 4,40m X 3,15m, com acostamentos de 1,50 m, e uma proteção com barreira rígida da passarela, passarela com 1,00m

Foi realizado levantamento de campo para determinar as principais manifestações patológicas na superestrutura.

Após o levantamento de campo no trecho 8, foram encontradas inúmeras manifestações patológicas, que estão comprometendo a estrutura da ponte conforme observa-se no Quadro 10.

Quadro 10 - Deterioração do Trecho 8





Manifestações Patológicas Encontradas: Fissuras no Pavimento, Barreira rígida danificadas com armaduras exposta, juntas de dilatação Deformadas e sem função.

Fonte – Próprio Autor

3.4.9. Trecho 9– Pavimento

O trecho 9, corresponde a uma pista simples com acostamento. Este trecho em análise possui 40,00 m de extensão com um total de 18 placas de pavimento rígido com dimensões médias de 4,40m X 3,15m, com acostamentos de 1,50 m, e uma proteção com barreira rígida da passarela, passarela com 1,00m

Foi realizado levantamento de campo para determinar as principais manifestações patológicas na superestrutura.

Após o levantamento de campo no trecho 9, foram encontradas inúmeras manifestações patológicas, que estão comprometendo a estrutura da ponte conforme observa-se no Quadro 11.

Quadro 11 - Deterioração do Trecho 9





Manifestações Patológicas Encontradas: Fissuras no Pavimento, Barreira rígida danificadas com armaduras exposta, juntas de dilatação Deformadas e sem função.

Fonte – Próprio Autor

3.4.10. Trecho 10– Pavimento

O trecho 10, corresponde a uma pista simples com acostamento. Este trecho em análise possui 57,80 m de extensão com um total de 26 placas de pavimento rígido com dimensões médias de 4,40m X 3,15m, com acostamentos de 1,50 m, e uma proteção com barreira rígida da passarela, passarela com 1,00m

Foi realizado levantamento de campo para determinar as principais manifestações patológicas na superestrutura.

Após o levantamento de campo no trecho 10, foram encontradas inúmeras manifestações patológicas, que estão comprometendo a estrutura da ponte conforme observa-se no Quadro 12.

Quadro 12 - Deterioração do Trecho 10





Manifestações Patológicas Encontradas: Fissuras no Pavimento, Barreira rígida danificadas com armaduras exposta, juntas de dilatação Deformadas e sem função.

Fonte – Próprio Autor

3.4.11. Trecho 11– Pavimento

O trecho 11, corresponde a uma pista simples com acostamento. Este trecho em análise possui 40,00 m de extensão com um total de 18 placas de pavimento rígido com dimensões médias de 4,40m X 3,15m, com acostamentos de 1,50 m, e uma proteção com barreira rígida da passarela, passarela com 1,00m

Foi realizado levantamento de campo para determinar as principais manifestações patológicas na superestrutura.

Após o levantamento de campo no trecho 11, foram encontradas inúmeras manifestações patológicas, que estão comprometendo a estrutura da ponte conforme observa-se no Quadro 13.

Quadro 13 - Deterioração do Trecho 11





Manifestações Patológicas Encontradas: Fissuras no Pavimento, Barreira rígida danificadas com armaduras exposta, juntas de dilatação Deformadas e sem função.

Fonte –Próprio Autor

3.4.12.Trecho 12– Pavimento

O trecho 12, corresponde a uma pista simples com acostamento. Este trecho em análise possui 57,80 m de extensão com um total de 26 placas de pavimento rígido com dimensões médias de 4,40m X 3,15m, com acostamentos de 1,50 m, e uma proteção com barreira rígida da passarela, passarela com 1,00m

Foi realizado levantamento de campo para determinar as principais manifestações patológicas na superestrutura.

Após o levantamento de campo no trecho 12, foram encontradas inúmeras manifestações patológicas, que estão comprometendo a estrutura da ponte conforme observa-se no Quadro 14.

Quadro 14 - Deterioração do Trecho 12





Manifestações Patológicas Encontradas: Fissuras no Pavimento, juntas de dilatação Deformadas e sem função.

Fonte – Próprio Autor

3.4.13. Trecho 13– Pavimento

O trecho 13, corresponde a uma pista simples com acostamento. Este trecho em análise possui 40,00 m de extensão com um total de 18 placas de pavimento rígido com dimensões médias de 4,40m X 3,15m, com acostamentos de 1,50 m, e uma proteção com barreira rígida da passarela, passarela com 1,00m

Foi realizado levantamento de campo para determinar as principais manifestações patológicas na superestrutura.

Após o levantamento de campo no trecho 13, foram encontradas inúmeras manifestações patológicas, que estão comprometendo a estrutura da ponte conforme observa-se no Quadro 15.

Quadro 15 - Deterioração do Trecho 13





Manifestações Patológicas Encontradas: Fissuras no Pavimento, juntas de dilatação Deformadas e sem função.

Fonte – Próprio Autor

3.4.14. Trecho 14– Pavimento

O trecho 14, corresponde a uma pista simples com acostamento. Este trecho em análise possui 57,80 m de extensão com um total de 26 placas de pavimento rígido com dimensões médias de 4,40m X 3,15m, com acostamentos de 1,50 m, e uma proteção com barreira rígida da passarela, passarela com 1,00m

Foi realizado levantamento de campo para determinar as principais manifestações patológicas na superestrutura.

Após o levantamento de campo no trecho 14, foram encontradas inúmeras manifestações patológicas, que estão comprometendo a estrutura da ponte conforme observa-se no Quadro 16.

Quadro 16 - Deterioração do Trecho 14





Manifestações Patológicas Encontradas: Fissuras no Pavimento, juntas de dilatação Deformadas e sem função.

Fonte – Próprio Autor

3.4.15. Trecho 15– Pavimento

O trecho 15, corresponde a uma pista simples com acostamento. Este trecho em análise possui 40,00 m de extensão com um total de 18 placas de pavimento rígido com dimensões médias de 4,40m X 3,15m, com acostamentos de 1,50 m, e uma proteção com barreira rígida da passarela, passarela com 1,00m

Foi realizado levantamento de campo para determinar as principais manifestações patológicas na superestrutura.

Após o levantamento de campo no trecho 15, foram encontradas inúmeras manifestações patológicas, que estão comprometendo a estrutura da pont conforme observa-se no Quadro 17.

Quadro 17 - Deterioração do Trecho 15





Manifestações Patológicas Encontradas: Fissuras no Pavimento, Barreira rígida danificadas com armaduras exposta, juntas de dilatação Deformadas e sem função.

Fonte – Próprio Autor

3.4.16. Trecho 16– Pavimento

O trecho 16, corresponde a uma pista simples com acostamento. Este trecho em análise possui 57,80 m de extensão com um total de 26 placas de pavimento rígido com dimensões médias de 4,40m X 3,15m, com acostamentos de 1,50 m, e uma proteção com barreira rígida da passarela, passarela com 1,00m

Foi realizado levantamento de campo para determinar as principais manifestações patológicas na superestrutura.

Após o levantamento de campo no trecho 16, foram encontradas inúmeras manifestações patológicas, que estão comprometendo a estrutura da ponte conforme observa-se no Quadro 18.

Quadro 18 - Deterioração do Trecho 16





Manifestações Patológicas Encontradas: Fissuras no Pavimento, juntas de dilatação Deformadas e sem função.

Fonte – Próprio Autor

3.4.17. Trecho 17– Pavimento

O trecho 17, corresponde a uma pista simples com acostamento. Este trecho em análise possui 40,00 m de extensão com um total de 18 placas de pavimento rígido com dimensões médias de 4,40m X 3,15m, com acostamentos de 1,50 m, e uma proteção com barreira rígida da passarela, passarela com 1,00m

Foi realizado levantamento de campo para determinar as principais manifestações patológicas na superestrutura.

Após o levantamento de campo no trecho 17, foram encontradas inúmeras manifestações patológicas, que estão comprometendo a estrutura da ponte conforme observa-se no Quadro 19.

Quadro 19 - Deterioração do Trecho 17





Manifestações Patológicas Encontradas: Fissuras no Pavimento, juntas de dilatação Deformadas e sem função.

Fonte – Próprio Autor

3.4.18. Trecho 18– Pavimento

O trecho 18, corresponde a uma pista simples com acostamento. Este trecho em análise possui 57,80 m de extensão com um total de 26 placas de pavimento rígido com dimensões médias de 4,40m X 3,15m, com acostamentos de 1,50 m, e uma proteção com barreira rígida da passarela, passarela com 1,00m

Foi realizado levantamento de campo para determinar as principais manifestações patológicas na superestrutura.

Após o levantamento de campo no trecho 18, foram encontradas inúmeras manifestações patológicas, que estão comprometendo a estrutura da ponte conforme observa-se no Quadro 20.

Quadro 20 - Deterioração do Trecho 18





Manifestações Patológicas Encontradas: Fissuras no Pavimento, juntas de dilatação Deformadas e sem função.

Fonte – Próprio Autor

3.4.19. Trecho 19– Pavimento

O trecho 19 representa o final dos 900 m da ponte sentido Fátima sobre o Rio Tocantins, um trecho de pista simples com acostamento.

O trecho em análise possui 29,90 m de extensão com um total de 16 placas de pavimento rígido com dimensões médias de 4,40m X 3,15m, com acostamentos de 1,50 m, e uma proteção com barreira rígida da passarela, passarela com 1,00m

Foi realizado levantamento de campo para determinar as principais manifestações patológicas na superestrutura.

Após o levantamento de campo no trecho 19, foram encontradas inúmeras manifestações patológicas, que estão comprometendo a estrutura da ponte conforme observa-se no Quadro 21.

Quadro 21 - Deterioração do Trecho 19





Manifestações Patológicas Encontradas: Fissuras no Pavimento, juntas de dilatação Deformadas e sem função.

Fonte – Próprio Autor

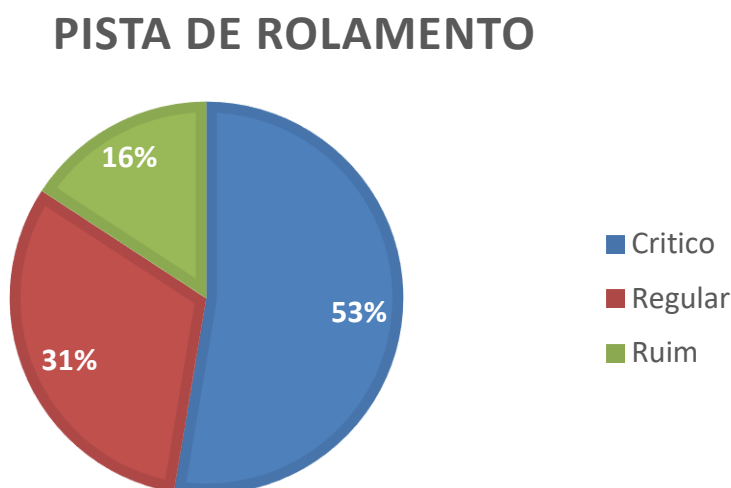
4. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

O presente capítulo tem por finalidade apresentar e discutir os resultados obtidos a partir das inspeções visuais. A análise foi realizada para cada trecho, conforme divisão apresentada no capítulo anterior, num total de 19 (dezenove) trechos. Esta análise compreende as manifestações patológicas encontradas.

4.1. Superestrutura

De acordo com levantamento feito observou-se que na superestrutura que 16% da pista de rolamento encontra-se em estado ruim de conservação, 31% em estado regular e 53% da pista de rolamento da ponte está em estado crítico de conservação, conforme observa-se no Gráfico 6.

Gráfico 6 – Estado de conservação da pista de rolamento

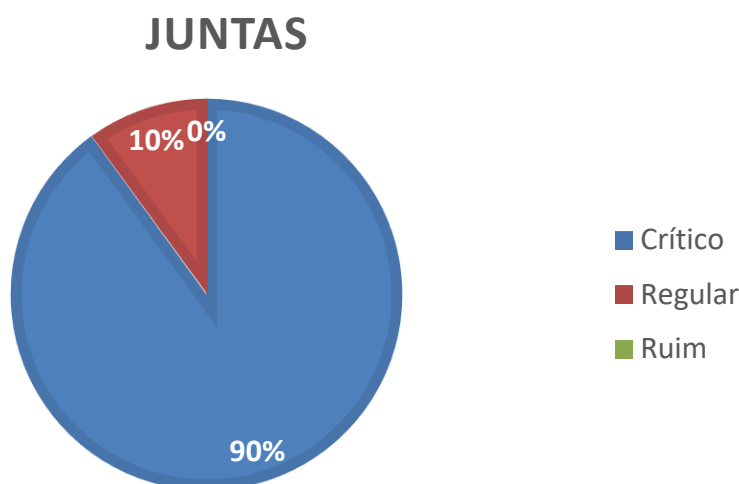


Fonte - Próprio Autor

Após análise in loco dos 900m da pista de rolamento, observamos que o seu estado de conservação é crítico, devido a falta de manutenção, pois, grande parte do pavimento da ponte apresenta inúmeros problemas; como fissuras, desnível das placas de concreto.

De acordo com levantamento feito observou-se que nas juntas de movimentação que 10% das juntas de movimentação encontra-se em estado regular de conservação, e 90% das juntas de movimentação em estado crítico de conservação, conforme observa-se no Gráfico 7.

Gráfico 7 – Estado de conservação das juntas de movimentação



Fonte - Próprio Autor

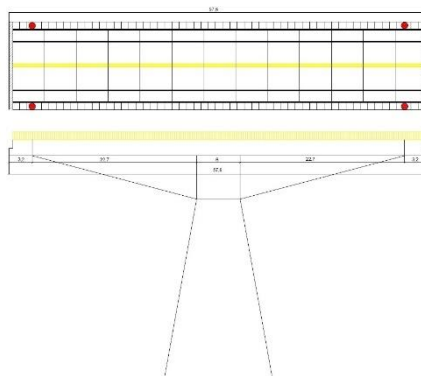
No caso das juntas de movimentação e problema também é crítico, pois as juntas não mais têm função estrutural, estão totalmente deterioradas. Este processo de deterioração das juntas de movimentação foi devido falta de manutenção periódica da ponte.

4.2. MESOESTRUTURA (CAIXÕES)

A inspeção visual dos caixões foi realizada a partir de acessos abertos na laje Superior. As fissuras nessa região foram identificadas e suas aberturas foram medidas com um fissurômetro.

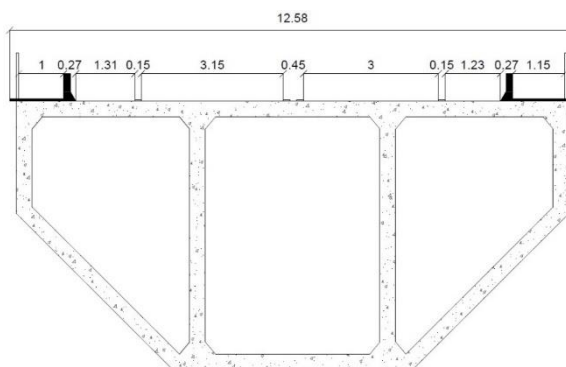
A estrutura é composta por 9 pilares/cavaletes conforme observou-se na Figura 11, cada pilar/cavalete possui 4 células que compõem os caixões perdidos da ponte, conforme observou-se figura 12, cada célula possui 3 m de largura 3,2 de altura 2 22,7 m de comprimento com variação de altura.

Figura 12 - Pista de Rolamento e Pilar



Fonte – Próprio Autor

Figura 13 - Corte da Ponte com as câmeras caixa

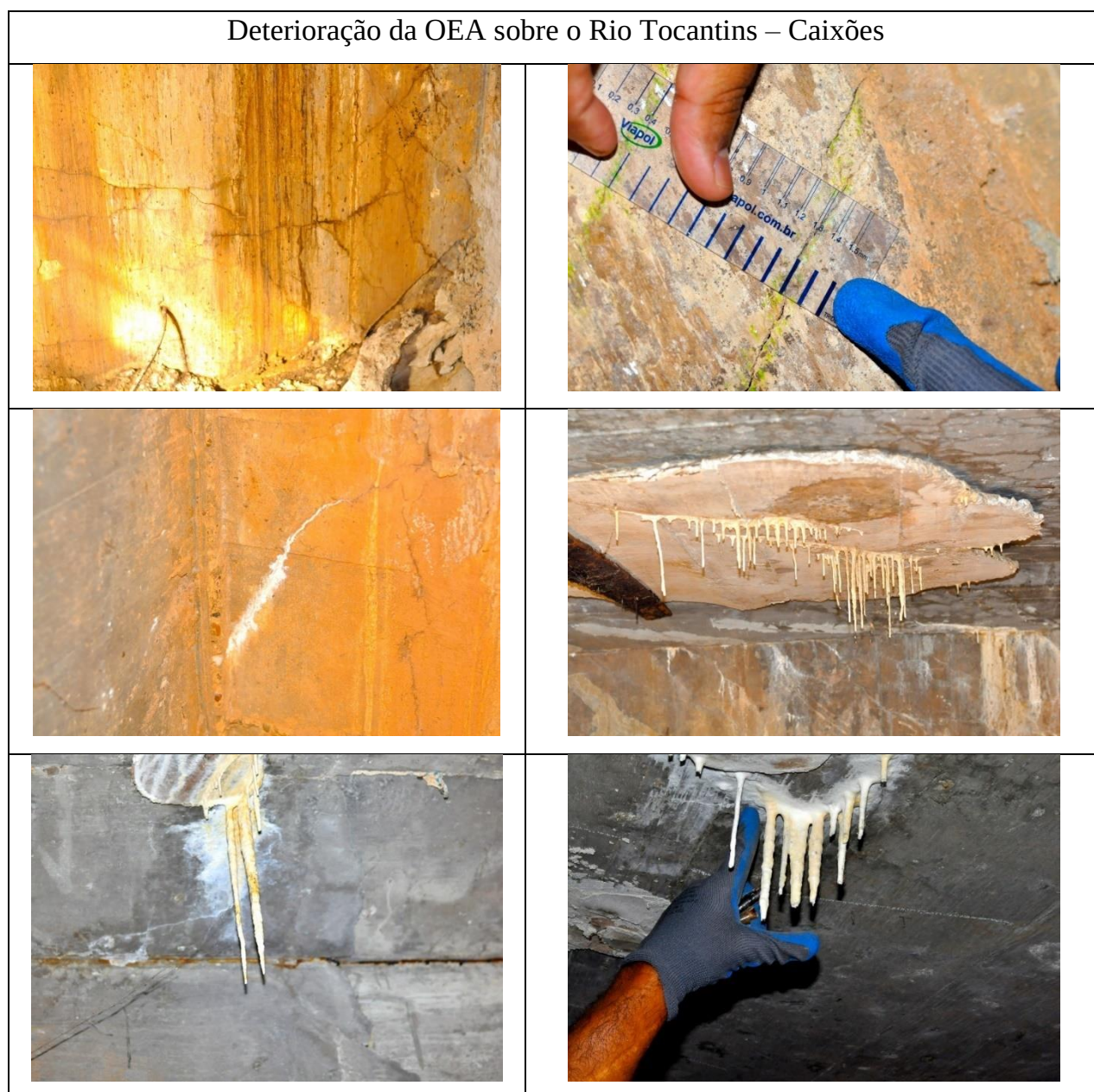


Fonte -Próprio Autor

Não sendo possível inspecionar todas as células, sendo inspecionado somente 6 células, sendo encontrado inúmeras manifestações patológicas: lixiviação, eflorescência, estalactites, fissuras, armaduras expostas e corrosão das armaduras, conforme observa-se no Quadro 22.

De acordo com o levantamento dos caixões perdidos observou-se a presença de inúmeras manifestações patológica em alto grau de deterioração como estalactites, eflorescências ocorridas pelo processo e lixiviação dos componentes do cimento hidroxido que favorecem o processo de corrosão das estruturas, conforme observou-se no Quadro 22.

Quadro 22 - Manifestações Patológicas nos Caixões Perdidos





Fonte – Próprio Autor

Após a análise pode-se observar a nítida falta de manutenção nos caixões perdidos como em toda a extensão da ponte.

4.3. MESOESTRUTURA (PILAR)

Conforme a ABNT/NBR 9452:2016 o conceito ds mesoestrutura se os elementos que a compõem um conjunto de elementos destinados a receber as cargas provenientes da superestrutura e transferi-las à infraestrutura. A mesoestrutura contempla em si os seguintes elementos:

- a) viga-travessa;

- b) pilar;
- c) pilone (torre, portal etc.);
- d) aparelho de apoio;
- e) viga de travamento de pilares

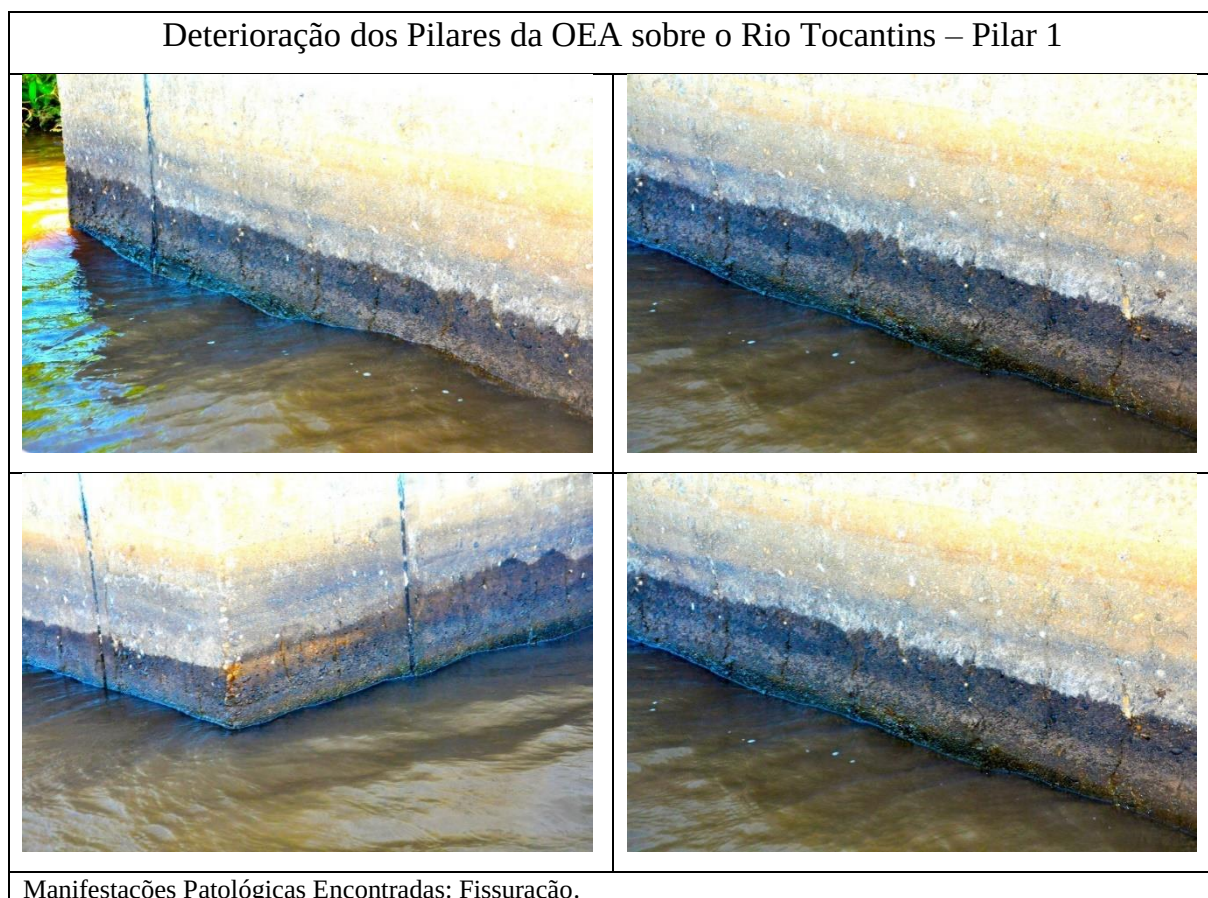
No dia 29 de julho de 2017, foi realizado a inspeção complementar da mesoestrutura (pilares). Foi vistoriado todos os 9 pilares a inspeção foi realizada de barco. Após a vistoria identificamos que todos os pilares apresentam algum grau de comprometimento.

4.3.1. Pilar 1

O Pilar 1 representa a saída de Porto Nacional, tem sessão variável e altura variável, este pilar apresenta algumas manifestações patológicas.

No pilar 1 apresenta inúmeras fissuras, ao nível da cota do rio, conforme observa-se no Quadro 23.

Quadro 23 - Deterioração do Pilar 1



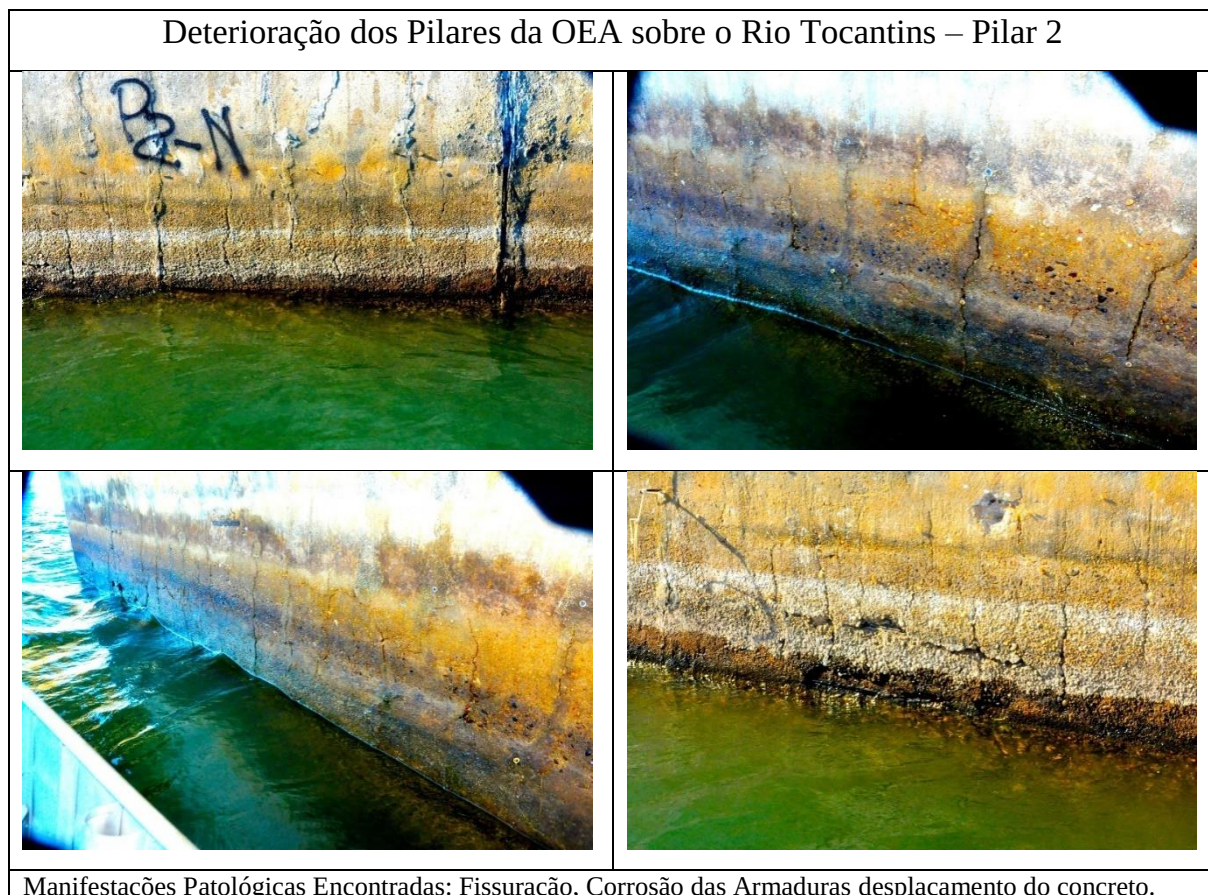
Fonte – Próprio Autor

4.3.2. Pilar 2

O pilar 2 apresenta seção variável e altura variável, este pilar apresenta algumas manifestações patológicas.

No pilar 2 apresenta inúmeras fissuras e corrosão de armaduras e nível da cota do rio, conforme observa-se no Quadro 24.

Quadro 24 - Deterioração do Pilar 2

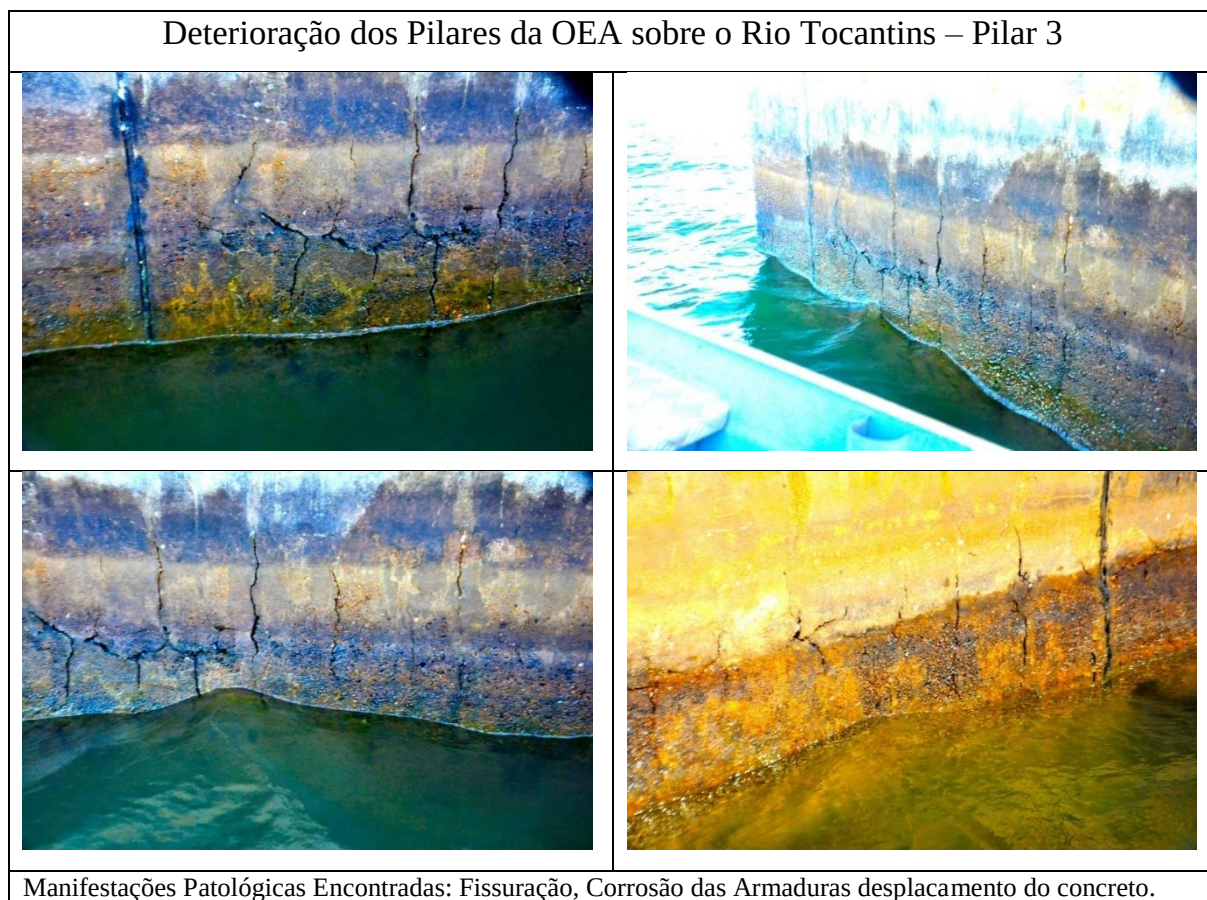


Fonte – Próprio Autor

4.3.3. Pilar 3

O pilar 3 apresenta seção variável e altura variável, este pilar apresenta algumas manifestações patológicas.

No pilar 3 apresenta inúmeras fissuras, corrosão de armaduras e armaduras exposta ao nível da cota do rio, conforme observa-se no Quadro 25.

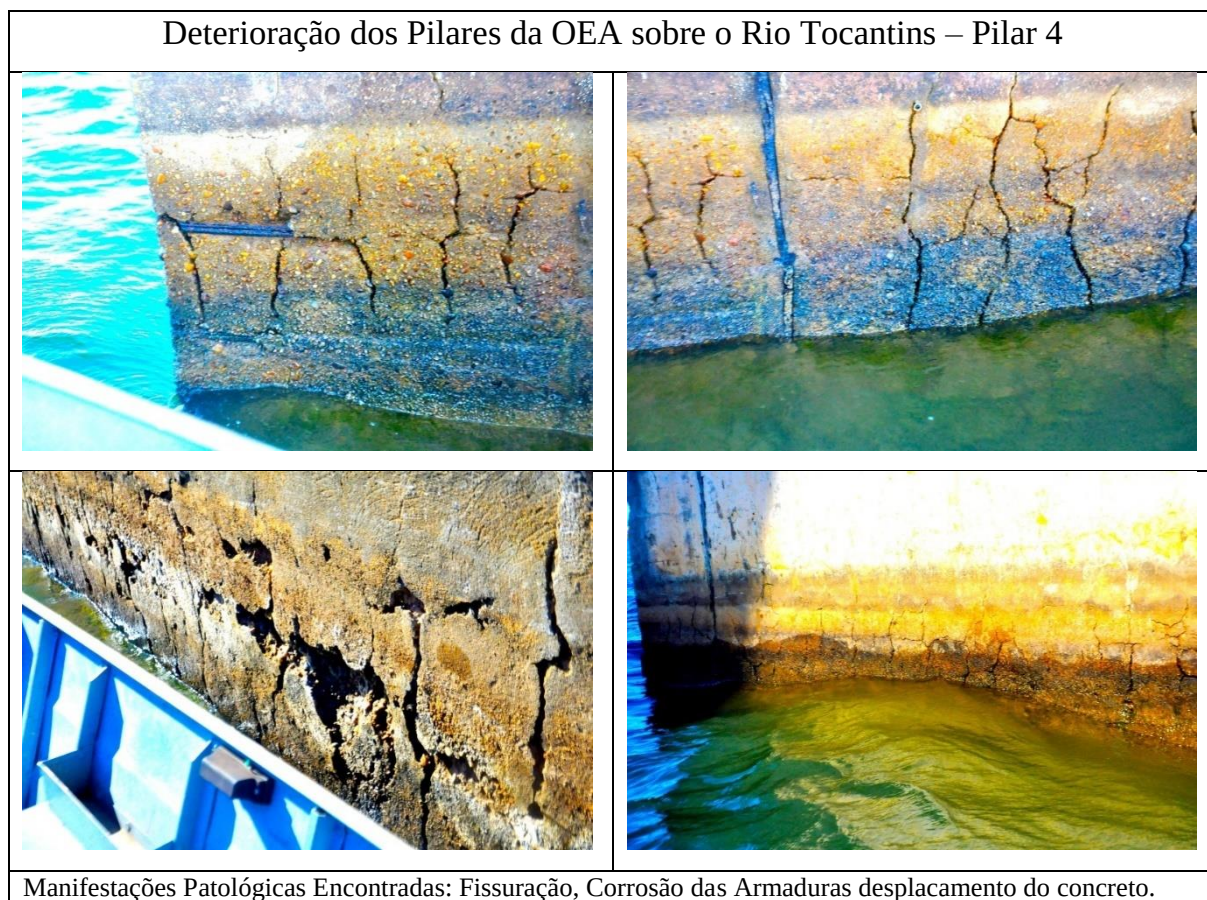
Quadro 25 - Deterioração do Pilar 3

Fonte – Próprio Autor

4.3.4. Pilar 4

O pilar 4 apresenta seção variável e altura variável, este pilar apresenta algumas manifestações patológicas.

No pilar 4 apresenta inúmeras fissuras, corrosão de armaduras e armaduras expostas e deslocamento do concreto ao nível da cota do rio, conforme observa-se no Quadro 26.

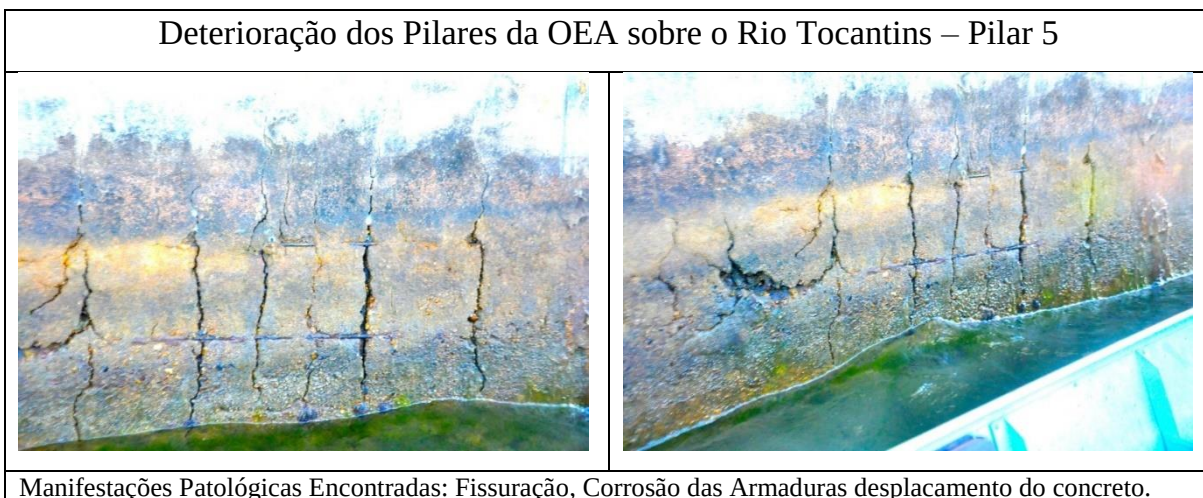
Quadro 26 - Deterioração do Pilar 4

Fonte – Próprio Autor

4.3.5. Pilar 5

O pilar 5 apresenta seção variável e altura variável, este pilar apresenta algumas manifestações patológicas.

No pilar 5 apresenta inúmeras fissura, corrosão de armaduras e armaduras expostas e deslocamento do concreto ao nível da cota do rio, conforme observa-se no Quadro 27.

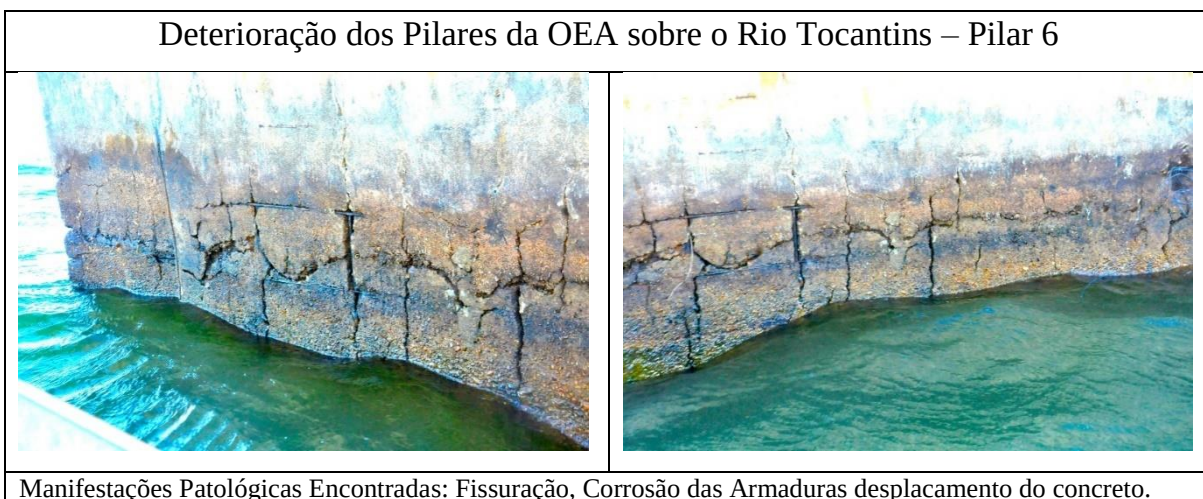
Quadro 27 - Deterioração do Pilar 5

Fonte – Próprio Autor

4.3.6. Pilar 6

O pilar 6 apresenta seção variável e altura variável, este pilar apresenta algumas manifestações patológicas.

No pilar 6 apresenta inúmeras fissuras, corrosão de armaduras e armaduras expostas e deslocamento do concreto ao nível da cota do rio, conforme observa-se no Quadro 28.

Quadro 28 - Deterioração do Pilar 6

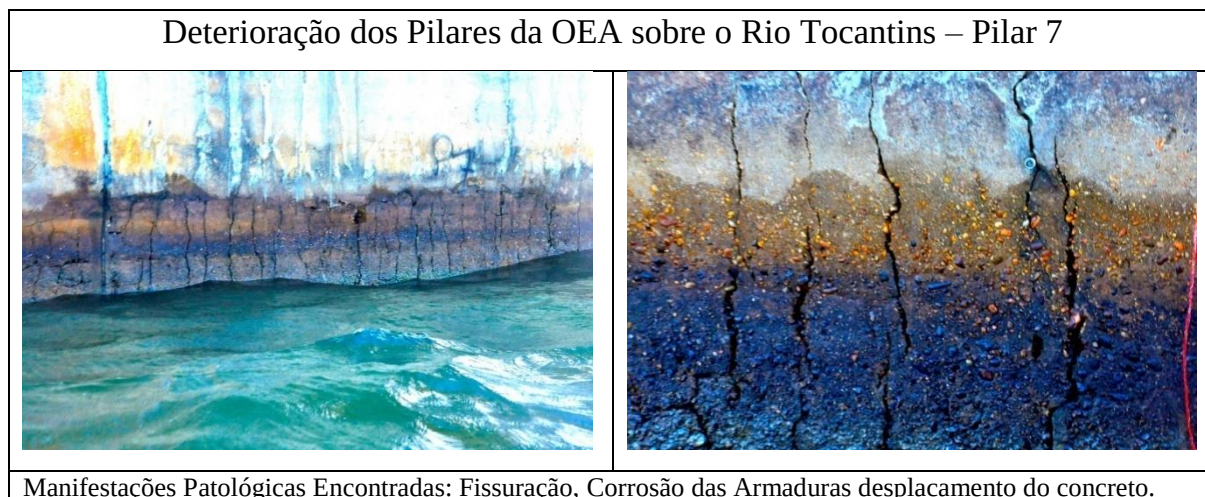
Fonte – Próprio Autor

4.3.7. Pilar 7

O pilar 7 apresenta seção variável e altura variável, este pilar apresenta algumas manifestações patológicas.

No pilar 7 apresenta inúmeras fissuras, corrosão de armaduras e armaduras exposta ao nível da cota do rio, conforme observa-se no Quadro 29.

Quadro 29 - Deterioração do Pilar 7



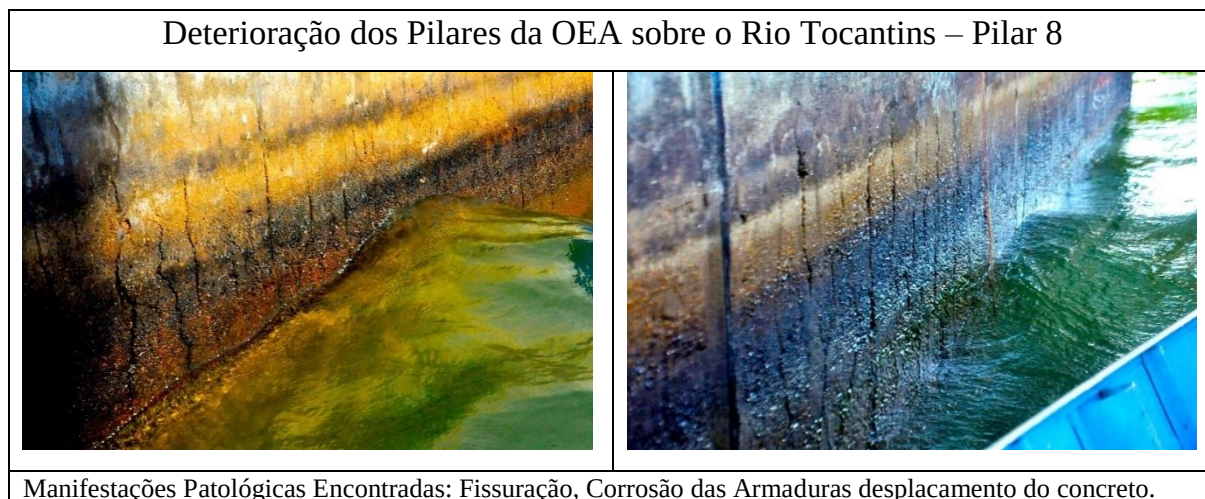
Fonte – Próprio Autor

4.3.8. Pilar 8

O pilar 8 apresenta seção variável e altura variável, este pilar apresenta algumas manifestações patológicas.

No pilar 8 apresenta inúmeras fissuras e corrosão de armaduras e armaduras exposta ao nível da cota do rio, conforme observa-se no Quadro 30

Quadro 30 - Deterioração do Pilar 8



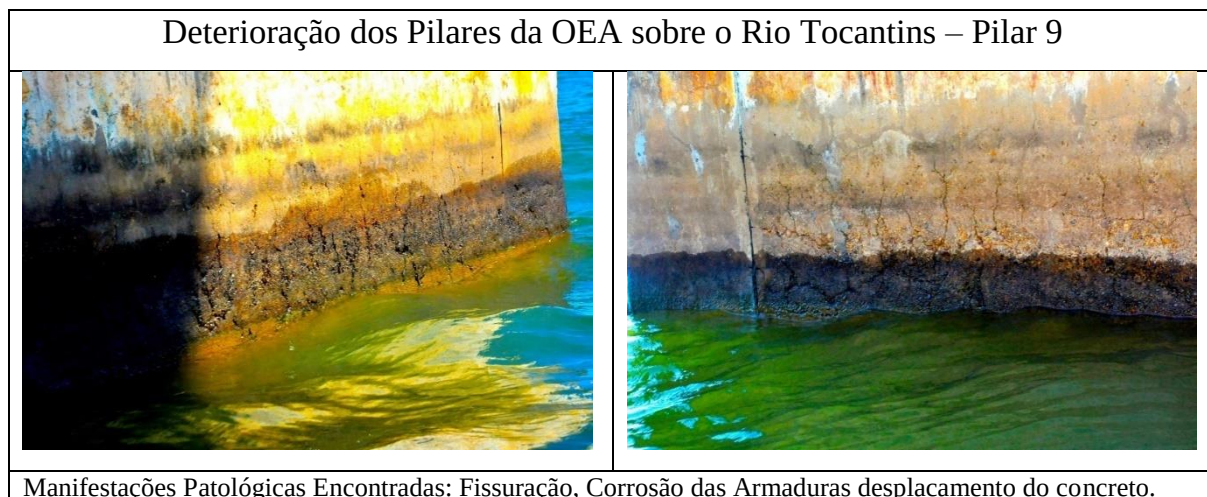
Fonte – Próprio Autor

4.3.9. Pilar 9

O pilar 9 apresenta seção variável e altura variável, este pilar apresenta algumas manifestações patológicas.

No pilar 9 apresenta inúmeras fissuras, corrosão de armaduras e armaduras exposta ao nível da cota do rio, conforme figuras abaixo.

Quadro 31 - Deterioração do Pilar 9



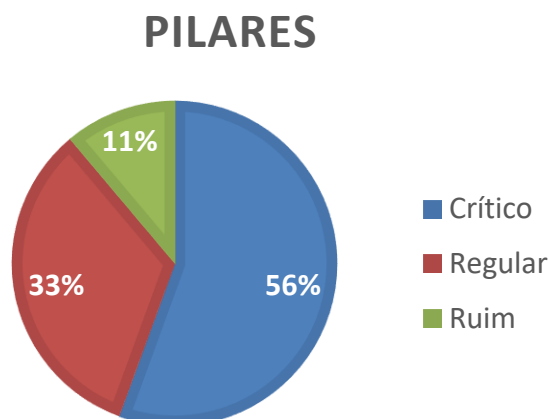
Fonte – Próprio Autor

4.4. Mesoestrutura (Pilares)

O presente item tem por finalidade apresentar e discutir os resultados obtidos a partir das inspeções visuais. A análise foi realizada nos pilares da OEA sobre o rio Tocantins, são, num total de 9 (nove) pilares. Esta análise compreende as manifestações patológicas encontradas.

De acordo com levantamento feito observou-se que na mesoestrutura 11% dos pilares encontra-se em estado ruim de conservação, 33% em estado regular e 56% dos pilares da ponte estão em estado crítico de conservação, conforme observa-se no Gráfico 8.

Gráfico 8 – Estado de conservação dos Pilares da Estrutura.



Fonte - Próprio Autor

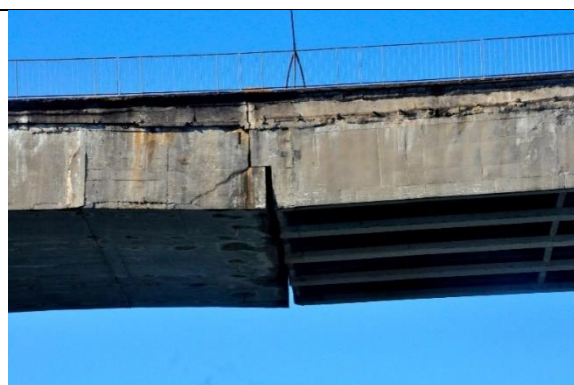
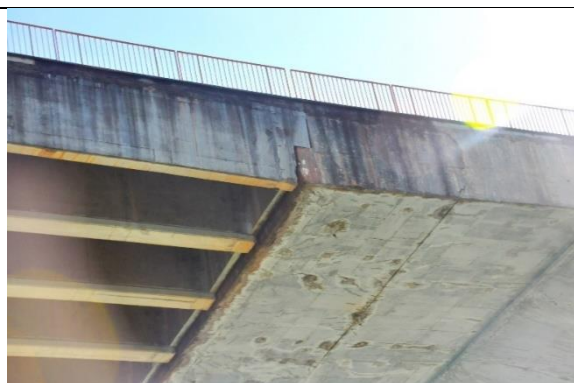
Após análise in loco dos 9 (nove) pilares, observou-se que o seu estado de conservação é crítico, devido à falta de manutenção, pois grande maioria dos pilares apresentam fissuras, armaduras expostas e corrosão.

4.5. VISTA LATERAL DA GRELHA E PILAR COM CAVALETES

Análise da estrutura nos encontros do pilar (cavaletes) e a grelha, nessa análise foi realizado uma inspeção visual da estrutura e seus elementos, tais como as manifestações patológica existentes, pontos de umidade e fissuras, conforme observa-se no Quadro 32.

Quadro 32 - Manifestações Patológicas Estruturais







Fonte – Próprio Autor

Após a inspeção visual realizada foi possível avaliar danos estruturais que vem comprometendo o desempenho e a durabilidade da estrutura, tomando como referência os danos identificados pela LSE entre os anos de 2003 e 2017.

Conforme a ABNT/NBR 9452:2016, as OAE devem ser classificadas segundo os parâmetros estrutural, funcional e de durabilidade e a gravidade dos problemas detectados, respeitando as Normas Brasileiras aplicáveis em cada caso.

Para ABNT/NBR 9452:2016, essa classificação é definida como:

4.6. PARÂMETROS ESTRUTURAIS

Os parâmetros estruturais são aqueles relacionados à segurança estrutural da OAE, ou seja, referentes à sua estabilidade e capacidade portante, sob o critério de seus estados limites último e de utilização, conforme ABNT/NBR6118:2014.

Sob o ponto de vista de prioridades de ações de recuperação, é frequente estes parâmetros serem objeto de maior atenção, notadamente quando a obra apresenta sintomatologia já visualmente detectável de desempenho estruturalmente anômalo.

4.7. PARÂMETROS FUNCIONAIS

Por parâmetros funcionais entendem-se aqueles aspectos da OAE relacionados diretamente aos fins a que ela se destina, devendo, para tanto, possuir requisitos geométricos adequados, como: visibilidade, gabaritos verticais e horizontais. Deve proporcionar também conforto e segurança a seus usuários, apresentando, por exemplo, guarda-corpos íntegros, ausência de depressões e/ou buracos na pista de rolamento e sinalização adequada.

4.8. PARÂMETROS DE DURABILIDADE

Designam-se por parâmetros de durabilidade aquelas características das OAE diretamente associadas à sua vida útil, ou seja, com o tempo estimado em que a estrutura deve cumprir suas funções em serviço.

Deste modo, estes parâmetros vinculam-se à resistência da estrutura contra ataques de agentes ambientais agressivos. Exemplificam-se como anomalias associadas à durabilidade, ausência de cobrimento de armadura, corrosão, fissuração que permite infiltrações, erosões nos taludes de encontros, entre outras.

A relevância dos problemas de durabilidade deve ser avaliada em conjunto com a agressividade do meio em que se situam, com o objetivo de inferir a velocidade de deterioração a eles associados.

4.9. CRITÉRIOS DE DEFINIÇÃO DAS NOTAS DE CLASSIFICAÇÃO

A classificação da OAE consiste da atribuição de avaliação de sua condição, que pode ser excelente, boa, regular, ruim ou crítica, associando notas aos parâmetros estrutural, funcional e de durabilidade, conforme anexo 1 (Tabela 1 da ANBT/NBR9452:2016).

A classificação da nota da OEA, deve ser conforme a ANBT/NBR 9452:2016, onde a nota final deve ser a menor nota atribuída ao parâmetro analisado, conforme anexo 2 (Tabela 2 da ANBT/NBR 9452:2016).

A classificação final deve ser apresentada conforme o modelo apresentado no anexo 2 (Tabela 2 da NBR), por componente estrutural e com uma classificação para

cada um dos parâmetros considerados estrutural, funcional e de durabilidade, com base nas notas do anexo 1 (Tabela 1 da ANBT/NBR 9452:2016).

De acordo com ANBT/NBR 9452:2016, Caracterização dos elementos estruturais, funcional e durabilidade devem seguir critérios que apresentem um detalhamento, considerando a relevância da anomalia e o elemento estrutural onde a mesma foi detectada, conforme anexo 3.

4.10. PARÂMETROS DE AVALIAÇÃO DAS OBRAS DE ARTES ESPECIAIS

As obras de artes especiais devem ser classificadas segundo em ANBT/NBR 9452:2016, em anexo 4:

- Parâmetros Estruturais;
- Parâmetros funcionais;
- Parâmetros de durabilidade.

4.11. DEFINIÇÃO DAS NOTAS DE CLASSIFICAÇÃO

Após a realização da inspeção, que foi definida por Inspeção Especial, conforme critérios estabelecidos pela ANBT/NBR 9452:2016, a inspeção especial deve ser pormenorizada e contemplar mapeamento gráfico e quantitativo das anomalias de todos os elementos aparentes e/ou acessíveis da OAE, com o intuito de formular o diagnóstico e prognóstico da estrutura.

Segundo ANBT/NBR 9452:2016 ela classifica inspeção especial como uma inspeção periódica a cada cinco anos, podendo ser postergada para até oito anos, desde que se enquadre concomitantemente aos seguintes casos:

- a) obras com classificação de intervenção de longo prazo
- b) obras com total acesso a seus elementos constituintes na inspeção rotineira.

A inspeção especial deve ser pormenorizada e contemplar mapeamento gráfico e quantitativo das anomalias de todos os elementos aparentes e/ou acessíveis da OAE, com o intuito de formular o diagnóstico e prognóstico da estrutura. Pode ser necessária

a utilização de equipamentos especiais para acesso a todos os componentes da estrutura, lateralmente e sob a obra e, se for o caso, internamente, no caso de estruturas celulares.

4.12. LEVANTAMENTO DAS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS NA OEA

As principais manifestações patológicas identificadas estão relacionadas a seguir:

- Ineficiência das juntas de dilatação;
- Fissuração excessiva do tabuleiro;
- Flecha excessiva dos balanços;
- Redução das áreas efetivas dos aparelhos de apoio;
- Fissuração excessiva no interior dos caixões da ponte;
- Fissuração dos pilares;
- Fissuração das lajes inferiores do caixão;
- Fissuração interna das lajes superior e inferior do caixão;
- Eflorescência no concreto, verificada no interior dos caixões;
- Fissuras nos apoios dos dentes Gerber;

4.13. INSPEÇÃO SUBAQUÁTICA

De acordo com ANBT/NBR 9452:2016, as inspeções subaquáticas devem ser consideradas como parte integrante das inspeções especiais, quando realizadas em intervalos regulares, ou extraordinárias.

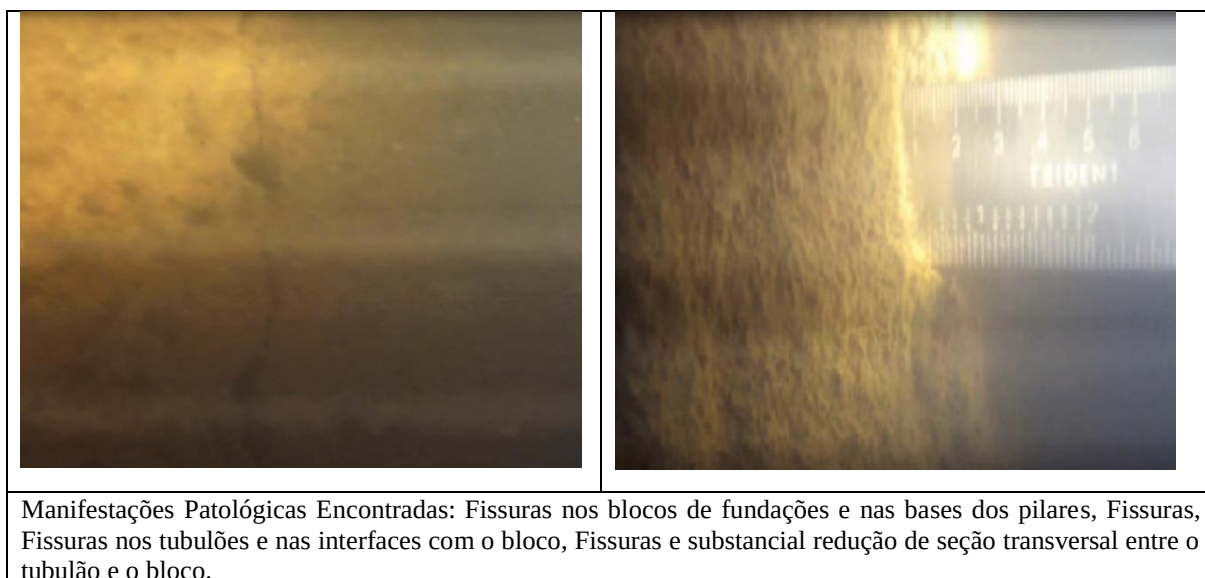
4.14. INSPEÇÕES SUBAQUÁTICAS REALIZADA PELA LSE

Contrato firmado entre a LSE Laboratório de Sistemas Estruturais Ltda e a AGETO – Agencia Tocantinense de Transportes e Obras, pois através das inspeções subaquáticas, foi possível observar os problemas na infraestrutura da OEA sobre o rio Tocantins.

Foi realizada a inspeção no pilar 4 somente, pois conforme ensaios realizados na OEA constatou -se que o pilar 4 apresentava maiores problemas, Quadro 33.

Quadro 33 - Inspeção Subaquática

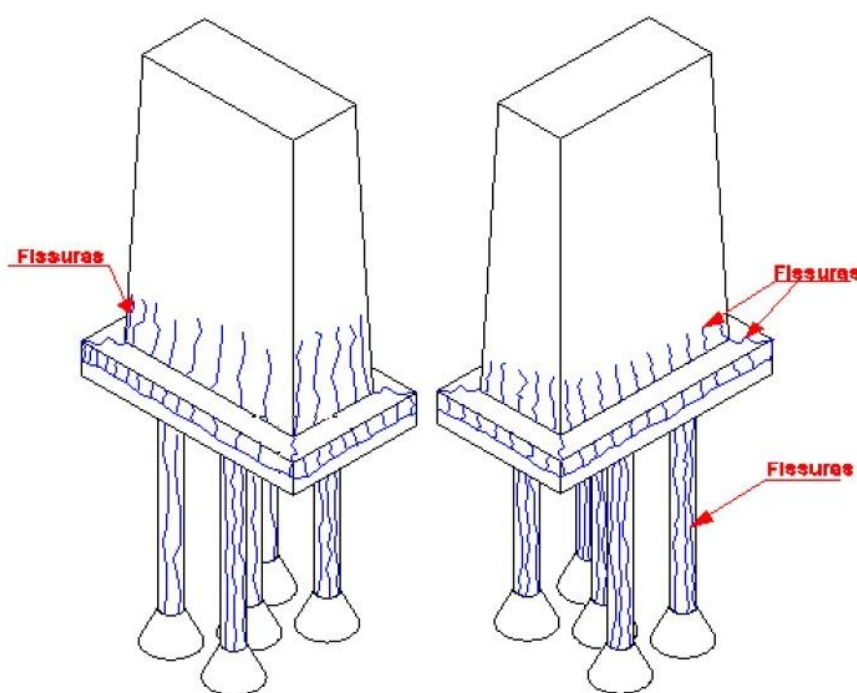




Fonte – LSE

Os principais danos observados nos pilares, blocos de fundação e tubulões durante a inspeção submersa, conforme observa-se figura 13.

Figura 14 - Manifestações Patológicas nos Pilares e Tubulão

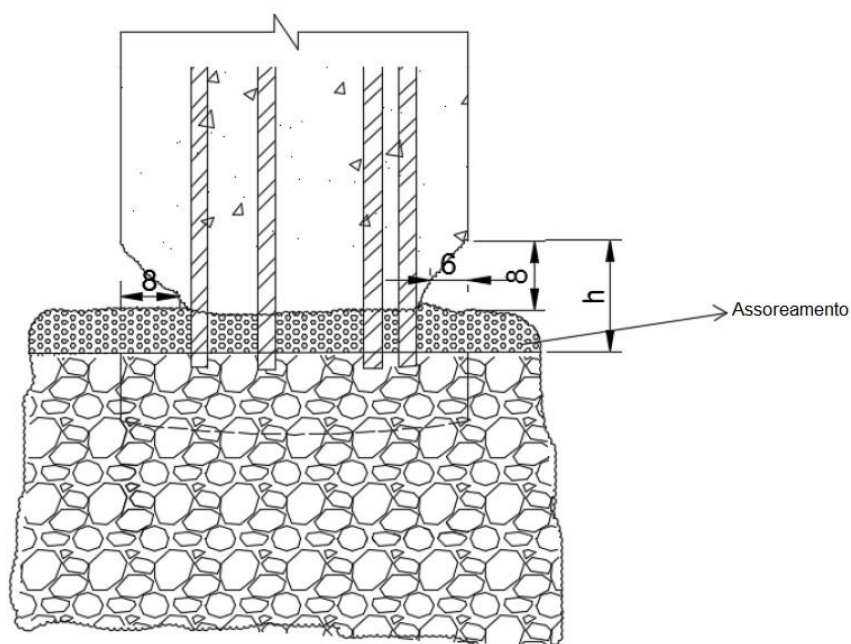


Fonte - LSE

A redução da seção transversal do tubulão 1 identificada na região em contato com a rocha conforme observa-se figura 14. Durante a inspeção submersa, foi observado no trecho que antecede a base do tubulão 1 do apoio 4 que essa região foi parcialmente

assoreada entre 2010 e 2017. Nessa região, onde constatou-se uma redução da seção transversal com exposição das armaduras em 2003 e 2010, foi realizado um estudo da evolução dos danos entre os anos de 2003, 2010 e 2017, Tabela 4, os mergulhadores não conseguiram acessar a armadura nessa fase da investigação. Foram levantadas as medidas da seção reduzida, somente no trecho que não estava assoreado.

Figura 15 - Deterioração do concreto no apoio 4



Fonte – LSE

Tabela 4- Evolução dos Danos nos anos 2003, 2010, 2017

Danos identificados em 2003	Danos identificados em 2010	Danos identificados em 2017
Fissuras verticais dos pilares	As fissuras verticais dos pilares mantiveram-se estáveis	As fissuras verticais dos pilares mantiveram-se estáveis
Fissuras nos blocos de fundação e nas bases dos pilares	As fissuras nos blocos de fundação e nas bases dos pilares mantiveram-se estáveis	As fissuras nos blocos de fundação e nas bases dos pilares mantiveram-se estáveis
Armadura exposta nos blocos	Armadura exposta nos blocos manteve-se estável	Armadura exposta nos blocos manteve-se estável
Fissuras nos tubulões a nas interfaces com o bloco	As fissuras nos tubulões a nas interfaces com o bloco mantiveram-se estáveis	Não verificado
Redução da seção transversal do tubulão 1 do apoio 4	Redução da seção transversal do tubulão manteve-se estável	Não verificado em razão assoreamento
Armadura exposta no tubulão	Armadura exposta no tubulão manteve-se estável	Armadura exposta no tubulão manteve-se estável

Fonte – LSE

Além da inspeção subaquática foi realizado o estudo petrográfico, sendo observada reação álcali-agregado em amostras extraídas do pilar 6 (CP-10), do tabuleiro, parte superior, região do balanço do pilar 8 (CP-6) e no balanço do pilar 7 (CP-5).

Com base em todas as informações levantadas nas inspeções realizada in loco, e na inspeção subaquática realizada pela empresa LSE, foi possível definir a notas de classificação da OAE sobre o rio Tocantins, conforme Tabela 5.

Tabela 5- Classificação da Estrutura

Parâmetro	Elementos						
	Super estrutura	Meso estrutura	Infra estrutura	Elementos complementares		Pista	Nota final
				Estrutura	Encontro		
Estrutural	1	2	2	3	3	3	1
Funcional	3	NA	NA	2	2	4	2
Durabilida	1	2	2	4	4	3	1

Fonte - Próprio Autor

Devido ao alto grau de comprometimento da OEA, e com base na ABNT/NBR 9452:2016, a ponte sobre o rio Tocantins no trecho de da cidade de Porto Nacional - TO, ficou classificada entres os parâmetros avaliados de estrutural, funcionalidade e durabilidade em conforme Tabela 6:

Tabela 6- Parâmetros Avaliados Conforme ABNT NBR 9452/2016

Parâmetro	Nota	Condição	Caracterização
Estrutural	1	Critica	Há danos que geram grave insuficiência estrutural na OAE. Há elementos estruturais em estado crítico, com risco tangível de colapso estrutural. A OAE necessita intervenção imediata, podendo ser necessária restrição de carga, interdição total ou parcial ao tráfego, escoramento provisório e associada instrumentação, ou não.
Funcional	2	Ruim	OAE com funcionalidade visivelmente comprometida, com riscos de segurança ao usuário, requerendo intervenções de curto prazo.
Durabilidade	1	Critica	A OAE encontra-se em elevado grau de deterioração, apontando problema já de risco estrutural e/ou funcional.

Fonte - ABNT NBR 9452/2016

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Será apresentado nesse capítulo as considerações finais desse trabalho e também uma sugestão para trabalhos futuros, partindo do pressuposto tema.

5.1. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Considera-se que foram atingidos os objetivos propostos no início desta pesquisa e que a hipótese foi corroborada e pode-se observa que:

- a) A ponte encontra-se em estado muito ruim conforme ANBT/NBR 9452:2016, pois após uma avaliação visual na Ponte sobre o Rio Tocantins, pode-se constatar inúmeras manifestações patológicas, na superestrutura e mesoestrutura.
- b) Na superestrutura pode-se observar que a falta de manutenção periódica e falta de um plano de manutenção, influenciaram diretamente no processo de deterioração de toda a superestrutura, onde foi observado-se a que as juntas de dilatação e o pavimento de concreto estão bem deteriorados, com inúmeras fissuras, desnivelamento do pavimento, juntas sem sua função estrutural.
- c) Já na mesoestrutura, o problema é crônico, em todos os 9 (nove) pilares apresentam inúmeras fissuras e corrosão de armaduras, essas fissuras, são bem características de reação álcalis agregados, sendo confirmado a reação por análises químicas realizadas pela empresa LSE. onde em seu laudo conclusivo confirma a reação álcalis agregados.
- d) Há danos estruturais na ponte de Porto Nacional que são conhecidos desde sua construção, quando foi identificado a presença de agregados potencialmente reativos, oriundos da região. Desta forma, a ação química das reações álcalis agregados (AAR) vem danificando as peças estruturais, comprometendo a durabilidade e a segurança estrutural.
- e) Após todos os estudos e as inspeções visuais realizados na ponte sobre o Rio Tocantins em Porto Nacional, a ponte foi classificada conforme a ABNT/ NBR 9452:2016, em uma estrutura, crítica nos parâmetros estrutural e durabilidade, e ruim no parâmetro funcional, com base nessa avaliação a estrutura, necessita de intervenções imediatas para evitar o colapso estrutural. Por se tratar de um trecho

de escoamento da produção de grãos, a interdição desta ponte poderia gerar um grande problema para a econômica. Mediante a esse problema a LSE após a realização de inúmeros ensaios e testes na estrutura fez algumas recomendações para que a ponte continue em operação. Entre as recomendações sugeridas foi a realização de operação controlada da ponte, limitando a passagem de cargas de eixos do TB 30, visando garantir a segurança do usuário e o prolongamento da vida residual da OAE, lembrando que a ponte em sua concepção foi projetada para TB 45; realização de manutenção reparadora do pavimento, com remoção dos pavimentos degradados, aplicando-se reparação tópica para evitar o aumento da carga permanente e impermeabilizar os caixões.

5.2. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Com o crescimento das grandes metrópoles, com o aumento da malha viária no país e levando em consideração o tema proposto nesse trabalho, sugerimos a seguinte proposta para estudos:

Estudo da viabilidade do monitoramento de novas pontes para confecção de manuais de manutenções preventivas.

6. REFERÊNCIAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7480 Aço destinado a armaduras para estruturas de concreto armado** - Especificação. Rio de Janeiro, 2007.

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

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9452 Inspeção de Pontes, viadutos e passarelas de concreto - Procedimento**. Rio de Janeiro, 2016.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6023 Informação e Documentação: Referência- Elaboração**. Rio de Janeiro, 1982.

MT/DNIT/IPR – 744, **Manual de Recuperação de Pontes e Viadutos Rodoviários**. Rio de Janeiro 2010.

MT/DNIT/IPR – 709, **Manual de Inspeção de Pontes Rodoviárias**. Rio de Janeiro 2014.

ALMEIDA, L. C. **Aços para Concreto Armado**. Notas de Aula da disciplina Estruturas IV – Concreto Armado da Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2002.

DOS SANTOS BASTOS, PS, 2006, **Fundamentos do concreto armado**, Notas de aula, São Paulo.

FUSCO, P. B. **Técnica de Armar as Estruturas de Concreto**. São Paulo: PINI, 2007.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, Paulo J. M. **Concreto, Microestrutura, Propriedades e Materiais**. São Paulo, 2008. Editora: IBRACON.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do concreto**. Tradução de: GIAMMUSSO, S. E. 2. ed. São Paulo: PINI, 1997.

ROQUE, J.A., MORENO JUNIOR, A.L., **Considerações sobre a vida útil do**

concreto, 2005, Primeiro Encontro Nacional de Pesquisa-Projeto-Produção em Concreto pré-moldado.

RIBEIRO, D. V., SALES, A., SOUZA, C. A. C., ALMEIDA, F. C. R., **Corrosão em Estruturas de Concreto Armado: Teoria, Controle e Métodos de Análise**. São Paulo: Campos, 2014.

SOUZA, V. C. M. de; RIPPER, T. **Patologia, Recuperação e reforço de Estruturas de concreto**. São Paulo: PINI, 1998.

MARCELLI, M. **Sinistros no Construção Civil: Causas e Soluções para danos e prejuízos em obras**. São Paulo: PINI, 2007.

TEJEDOR, C. M. **Patologias, recuperação e reforço com protensão externa em e estruturas de pontes** Dissertação de Graduação: Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013.

POLITO, G. **Corrosão em estruturas de concreto armado: causas, mecanismos**. Título de Especialista: Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte 2006.

LUIZA KILVIA DA SILVA, K. L **levantamento de manifestações patológicas em estruturas de concreto armado no estado do Ceará**. Universidade Federal do Ceará, Fortaleza 2011

ALVES L. F., **Obras De Arte Especiais Br-267/Mg: Patologias X Fatores Influentes**. Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora 2012

OLIVEIRA, A. M. **Fissuras, trincas e rachaduras causadas por recalque diferencial de fundações**. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte 2012.

7. ANEXOS

Anexo 1

CrITÉRIOS de definição das notas de classificação

A classificação da OAE consiste da atribuição de avaliação de sua condição, que pode ser excelente, boa, regular, ruim ou crítica, associando notas aos parâmetros estrutural, funcional e de durabilidade.

Essas notas de avaliação devem variar de 1 a 5, refletindo a maior ou menor gravidade dos problemas detectados.

A classificação deve seguir o estabelecido na Tabela 1, que correlaciona essas notas com a condição da OAE e caracteriza os problemas detectados, segundo os parâmetros estrutural, funcional e de durabilidade.

Classificação da condição de OAE segundo os parâmetros estrutural, funcional e de durabilidade

Nota de classificação	Condição	Caracterização estrutural	Caracterização funcional	Caracterização de durabilidade
5	Excelente	A estrutura apresenta-se em condições satisfatórias, apresentando defeitos irrelevantes e isolados.	A OAE apresenta segurança e conforto aos usuários.	A OAE apresenta-se em perfeitas condições, devendo ser prevista manutenção de rotina.
4	Boa	A estrutura apresenta danos pequenos e em áreas, sem comprometer a segurança estrutural.	A OAE apresenta pequenos danos que não chegam a causar desconforto ou insegurança ao usuário.	A OAE apresenta pequenas e poucas anomalias, que comprometem sua vida útil, em região de baixa agressividade ambiental.

Fonte – ABNT NBR 9452/2016

Anexo Continuação do anexo 1

Nota de classificação	Condição	Caracterização estrutural	Caracterização funcional	Caracterização de durabilidade
3	Regular	Há danos que podem vir a gerar alguma deficiência estrutural, mas não há sinais de comprometimento da estabilidade da obra. Recomenda-se acompanhamento dos problemas. Intervenções podem ser necessárias a médio prazo.	A OAE apresenta desconforto ao usuário, com defeitos que requerem ações de médio prazo.	A OAE apresenta pequenas e poucas anomalias, que comprometem sua vida útil, em região de moderada a alta agressividade ambiental ou a OAE apresenta moderadas a muitas anomalias, que comprometem sua vida útil, em região de baixa agressividade ambiental.
2	Ruim	Há danos que comprometem a segurança estrutural da OAE, sem risco iminente. Sua evolução pode levar ao colapso estrutural. A OAE necessita de intervenções significativas a curto prazo.	OAE com funcionalidade visivelmente comprometida, com riscos de segurança ao usuário, requerendo intervenções de curto prazo.	A OAE apresenta anomalias moderadas a abundantes, que comprometam sua vida útil, em região de alta agressividade ambiental.
1	Crítica	Há danos que geram grave insuficiência estrutural na OAE. Há elementos estruturais em estado crítico, com risco tangível de colapso estrutural. A OAE necessita intervenção imediata, podendo ser necessária restrição de carga, interdição total ou parcial ao tráfego, escoramento provisório e associada instrumentação, ou não.	A OAE não apresenta condições funcionais de utilização.	A OAE encontra-se em elevado grau de deterioração, apontando problema já de risco estrutural e/ou funcional.

Fonte - ABNT NBR 9452/2016

Anexo 2

Referência de classificação da OAE

No caso de inspeções especiais, pode ser necessário um maior detalhamento na classificação da condição da OAE prevista na Seção 5.

Este Anexo apresenta esse detalhamento, considerando a relevância da anomalia e o elemento estrutural onde a mesma foi detectada.

E.1 Importância dos elementos na segurança estrutural da OAE

As consequências de dano em cada tipo de elemento da OAE está descrita a seguir:

- a) elemento principal (P): cujo dano pode ocasionar o colapso parcial ou total da obra;
- b) elemento secundário (S): cujo dano pode ocasionar ruptura localizada;
- c) elemento complementar (C): cujo dano não causa nenhum comprometimento estrutural, apenas funcional na OAE.

ABNT NBR 9452:2016

Caracterização dos elementos estruturais segundo a relevância no sistema estrutural

Elemento			Sistema estrutural				
			Duas vigas	Grelha	Caixão	Laje	Galeria
Superestrutura	Viga	Longarina	P	P	—	—	—
		Transversina	S	S	S	S	S
	Laje		S	S	P	P	P
Mesoestrutura	Travessas		P	P	P	P	—
	Pilares		P	P	P	P	—
	Aparelho de apoio		P	P	P	P	—
Encontros	Cortina		S	S	S	S	—
	Laje de transição		S	S	S	S	S
	Muros de ala		S	S	S	S	S
Infraestrutura	Blocos		P	P	P	P	P
	Sapatas		P	P	P	P	P
	Estacas, tubulões		P	P	P	P	P
Complementares	Barreira rígida		C	C	C	C	C
	Guarda-corpo		C	C	C	C	C

Quanto à classificação funcional, as avaliações ligadas aos gabaritos horizontal e vertical devem levar em consideração as pistas existentes, a ocorrência de acidentes e sinais de impacto de veículos, a sinalização existente e os critérios dos manuais e Normas de projeto geométrico, como a classe da rodovia e o volume de tráfego.

As Tabelas E.2, E.3 e E.4 apresentam os quadros referenciais de OAE com classificações para os parâmetros estrutural, funcional e de durabilidade, respectivamente.

Fonte - ABNT NBR 9452/2016

Anexo 3

ABNT NBR 9452:2016

Nota de classificação da OAE segundo os parâmetros estruturais

Condição verificada na inspeção especial segundo parâmetros estruturais		Nota de classificação		
		Elemento onde foi constatada a anomalia		
		Principal	Secundário	Complementar
Fissuração	Fissuração superficial de retração, hidráulica ou térmica	4	4	5
	Fissuras em elementos protendidos	1	2	—
	Fissuras em elementos de concreto armado com abertura dentro dos limites previstos conforme ABNT NBR 6118:2014, 13.4	3	4	4
	Fissuras em elementos de concreto armado com abertura superior aos limites previstos conforme ABNT NBR 6118:2014, 13.4	2	3	4
Flecha	Flechas não congênita acima dos limites conforme ABNT NBR 6118	1	2	3
Anomalias na armadura	Armadura principal exposta e corroída, com perda de seção de até 20 % do total da armadura	3	4	5
	Armadura principal exposta e corroída, com perda de seção acima de 20 % da área total de armadura ou que comprometa a estabilidade da peça	2	3	4
	Armaduras principais rompidas	1	2	3
	Ruptura de parte da armadura principal passiva ou ativa	1	2	3
	Tirantes rompidos	1	—	—
	Armadura protendida exposta e corroída	2	—	—
	Perda ou falta de protensão em elemento principal	2	—	—
Anomalias no concreto	Concreto segregado com áreas inferiores a 0,1 m ² em zonas favoráveis de tensões	4	5	5
	Concreto segregado em regiões de tensões de compressão, mas em pequenas áreas (entre 0,1 m ² e 0,5 m ²)	3	4	5
	Concreto segregado em regiões sujeitas a tensões de compressão, em área superior a 0,5 m ²	2	3	4
	Rompimento do concreto em pontos de altas tensões de compressão	1	2	3

Fonte - ABNT NBR 9452/2016

Anexo Continuação do anexo 3

Condição verificada na inspeção especial segundo parâmetros estruturais		Nota de classificação
Apoio (meso-estrutura)	Deslocamento e ou desalinhamento de peças estruturais gerando excentricidades que podem ocasionar instabilidades ou concentração de tensões	2
	Vigas transversinas ou longarinas mal ou insuficientemente apoiadas em pilares, sintomas localizados como trincas (grandes fissuras) junto aos apoios na interface das vigas e pilares podem vir a reforçar este juízo	1
Aparelhos de apoio	Aparelhos de apoio de neoprene com pequenos rasgos na camada superficial, sem exposição das chapas de fretagem	5
	Aparelhos de apoio metálicos com corrosão superficial	4
	Aparelhos de apoio danificados ou comprometidos gerando alguma vinculação sem causar grandes esforços, recalques diferenciais e sem criação de cunhas de ruptura ou fissuras no entorno	3
	Aparelhos de apoio comprometidos, gerando vínculos imprevistos com cunhas de ruptura e recalques diferenciais com trincas ou fissuras	2
	Aparelhos de apoio danificados totalmente rompidos, dando origem a esforços horizontais e ou travamento de rotações, indesejáveis no esquema estrutural original	1
Juntas	Juntas de dilatação parcialmente obstruídas sem causar restrições à movimentação dos tabuleiros	5
	Juntas de dilatação obstruídas, causando restrições à movimentação dos tabuleiros	4
	Juntas de dilatação obstruídas, com contribuição para o quadro patológico com formação de fissuras em vigas longarinas e lajes	3
	Juntas de dilatação obstruídas, causando graves danos à superestrutura (esmagamento do concreto de vigas e lajes, formação de quadro de fissuração e esforços não previstos na meso e infraestrutura)	2
Encontros	Taludes de encontro com pequenos sulcos, sem causar danos às fundações	5
	Taludes de encontro com erosão, com situação estabilizada, sem causar danos às fundações	4
	Deslizamento de taludes de encontro	2
	Deslizamento de taludes de encontro gerando possível perda de base de apoio de fundações e ou empuxos ativos nos pilares	1
	Desníveis do pavimento, na transição terrapleno x tabuleiro, gerando acréscimo no impacto da carga accidental	3
Outros	Drenos inexistentes ou comprometidos no interior dos caixões, acarretando retenção de água no seu interior	3

Fonte - ABNT NBR 9452/2016

Anexo Continuação do anexo 3

ABNT NBR 9452:2016

Classificação segundo parâmetros funcionais

Condição verificada na inspeção especial, segundo parâmetros funcionais		Classificação nota
Drenagem	Drenagem deficiente sem causar empoçamento ou aquaplanagem	4
	Drenagem no tabuleiro deficiente com empoçamentos localizados que não provoquem o fenômeno de aquaplanagem	3
	Drenagem ineficiente ou inexistente gerando pontos úmidos e formação de lâmina de água, possibilitando derrapagem ou o fenômeno de aquaplanagem	1
Pista	Pista de rolamento com pequenas irregularidades, sem gerar desconforto ao usuário	5
	Pista de rolamento com irregularidades, gerando desconforto ao usuário	4
	Desníveis no pavimento, na transição terrapleno x tabuleiro e juntas de dilatação, causando solavancos	3
Juntas	Pontos danificados nas juntas de dilatação sem causar desconforto ao usuário	4
	Berço danificado nas juntas de dilatação, gerando pequeno desconforto ao usuário	3
Dispositivos de segurança	Dispositivos de segurança com pontos danificados (segregação de concreto, armadura exposta)	3
	Dispositivos de segurança inexistentes, comprometendo a segurança dos usuários	1
	Inexistência de dispositivos de segurança para proteção de peças estruturais sujeitas a impactos	2
Passeio e guarda-corpo	Guarda-corpo rompido ou inexistente	1
Gabaritos	Sinalização horizontal e vertical inadequadas ou inexistentes, com risco à segurança da obra e usuários	2
	Acidentes com choques de veículos ou embarcações na estrutura	2

Fonte - ABNT NBR 9452/2016

Classificação segundo parâmetro de durabilidade

Condição verificada na inspeção especial segundo parâmetro de durabilidade		Nota de classificação		
		Elemento onde foi constatada a condição		
		Principal	Secundário	Complementar
Fissuração	Quadro de fissuração generalizada, mas dentro dos limites previstos conforme ABNT NBR 6118:2014, 13.4	5	5	5
	Quadro de fissuração inaceitável, conforme ABNT NBR 6118:2014, 13.4	1	2	3
	Fissuração de elementos estruturais com indícios de reação expansiva (álcali-agregado ou sulfatos)	2	2	3
Armadura	Armaduras expostas com corrosão incipiente	3	4	4
	Armadura exposta em processo evolutivo de corrosão	2	3	4
	Armadura protendida exposta, mesmo sem corrosão, em ambiente de baixa e média agressividade	3	4	—
	Armadura protendida exposta e corroída	1	2	3
	Obras com deficiência de cobrimento sem armadura exposta	4	5	5
	Obras com deficiência de cobrimento com estufamento por expansão da corrosão	3	4	4
Concreto	Concreto segregado com áreas inferiores a 0,1 m ² em zonas favoráveis de tensões	4	4	5
	Concreto segregado em regiões de tensões de compressão, mas em pequenas áreas (entre 0,1 m ² e 0,5 m ²)	3	4	5
	Concreto segregado em regiões sujeitas a tensões de compressão, em área superior a 0,5 m ²	2	3	4
	Lixiviação superficial do concreto	4	4	5
	Manchas superficiais de fuligem atmosférica	4	4	5
	Calcinação do concreto com exposição de armaduras	1	2	3
Carbonatação	Eflorescências, com surgimento de manchas esbranquiçadas decorrentes de reação de carbonatação	4	4	5
	Carbonatação com profundidade atingindo armaduras principais	3	3	4
	Carbonatação com profundidade superior à espessura do cobrimento da armadura	2	3	3

Anexo Continuação do anexo 3

ABNT NBR 9452:2016

Condição verificada na inspeção especial segundo parâmetro de durabilidade		Nota de classificação
Drenagem	Buzinotes obstruídos	3
	Drenagem do caixão inexistente ou insuficiente, com acúmulo de água dentro dos mesmos	2
	Presença de água internamente às bainhas da armadura protendida	1
	Drenagem do tabuleiro totalmente inoperante	2
Taludes	Taludes dos encontros com erosão localizada ou solapamento de material	3
	Taludes dos encontros com erosão significativa	2
	Taludes dos encontros com erosão significativa, acarretando desconfinamento da fundação	1
	Taludes protegidos com placas faltantes ou danificados	4
	Percolação de águas pluviais ou subterrâneas pelos taludes dos encontros	3

Fonte - ABNT NBR 9452/2016

Anexo 4

5 Critério de classificação das OAE

5.1 Parâmetros de avaliação das OAE

As OAE devem ser classificadas segundo os parâmetros estrutural, funcional e de durabilidade e a gravidade dos problemas detectados, respeitando as Normas Brasileiras aplicáveis em cada caso.

5.1.1 Parâmetros estruturais

Os parâmetros estruturais são aqueles relacionados à segurança estrutural da OAE, ou seja, referentes à sua estabilidade e capacidade portante, sob o critério de seus estados limites último e de utilização, conforme ABNT NBR 6118.

Sob o ponto de vista de prioridades de ações de recuperação, é frequente estes parâmetros serem objeto de maior atenção, notadamente quando a obra apresenta sintomatologia já visualmente detectável de desempenho estruturalmente anômalo.

5.1.2 Parâmetros funcionais

Por parâmetros funcionais entendem-se aqueles aspectos da OAE relacionados diretamente aos fins a que ela se destina, devendo, para tanto, possuir requisitos geométricos adequados, como: visibilidade, gabaritos verticais e horizontais. Deve proporcionar também conforto e segurança a seus usuários, apresentando, por exemplo, guarda-corpos íntegros, ausência de depressões e/ou buracos na pista de rolamento e sinalização adequada.

5.1.3 Parâmetros de durabilidade

Designam-se por parâmetros de durabilidade aquelas características das OAE diretamente associadas à sua vida útil, ou seja, com o tempo estimado em que a estrutura deve cumprir suas funções em serviço.

Fonte - ABNT NBR 9452/2016