

Flávia da Silva Madureira

ANÁLISE DAS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS DOS PILARES DE
CONCRETO ARMADO EM PONTES–Caso da Ponte de Porto Nacional - TO

Palmas-TO

2020

Flávia da Silva Madureira

ANÁLISE DAS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS DOS PILARES DE
CONCRETO ARMADO EM PONTES–Caso da Ponte de Porto Nacional - TO

Trabalho de Conclusão de Curso
(TCC) II elaborado e apresentado como
requisito parcial para obtenção do título de
bacharel em Engenharia Civil pelo Centro
Universitário Luterano de Palmas
(CEULP/ULBRA).

Orientador: Prof. MSc. Daniel Iglesias
de Carvalho

Flávia da Silva Madureira
ANÁLISE DAS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS DOS PILARES DE
CONCRETO ARMADO EM PONTES–Caso da Ponte de Porto Nacional - TO

Trabalho de Conclusão de Curso
(TCC) II elaborado e apresentado como
requisito parcial para obtenção do título de
bacharel em Engenharia Civil pelo Centro
Universitário Luterano de Palmas
(CEULP/ULBRA).

Orientador: Prof. MSc. Daniel Iglesias
de Carvalho

Aprovado em: ____/____/____

BANCA EXAMINADORA

Prof. MSc. Daniel Iglesias de Carvalho

Orientador

Centro Universitário Luterano de Palmas–CEULP

Prof. MSc. Denis Cardoso Parente

1º Avaliador

Centro Universitário Luterano de Palmas–CEULP

Prof. MSc. Leon Gomes Diniz

2º Avaliador

Centro Universitário Luterano de Palmas–CEULP

Dedico a todos os meus professores que com sua sabedoria, experiência e dedicação me influenciaram e foram pilares importantes na minha formação profissional, me instruindo, incentivando e dividindo suas experiências que foram de grande valia na minha trajetória.

A minha amada mãe que foi e sempre será a minha grande inspiração.

A minha coordenadora de curso Kenia Parente Lopes Mendonça sempre dedicada, atenciosa e preocupada com as nossas necessidades.

Aos meus amigos Tatiane Silva Veras Nôleto e Paulo Nôleto de Sousa Veras que sempre estiveram juntos a mim ao longo desses anos de curso, acreditando e incentivando o meu crescimento profissional.

AGRADECIMENTOS

Agradeço em primeiro lugar a Deus que sempre me fortalece.

A minha falecida mãe Irenilda Maria da Silva Madureira que sempre muito dedicada me falou para eu não desistir nas dificuldades. Este título vai com muito carinho e amor para ela que sempre estará nas minhas lembranças.

Aos meus amigos, que sempre estiveram ao meu lado e acreditaram no meu potencial mesmo quando cheguei a desacreditar.

Ao meu orientador Daniel Iglesias de Carvalho pelos conselhos e ajuda.

O sucesso é o resultado de um trabalho duro. (Autor desconhecido).

RESUMO

MADUREIRA, Flávia da Silva. **Análise das Manifestações Patológicas dos Pilares de Concreto Armado em Pontes – Caso da Ponte de Porto Nacional - TO.** 2020. 98 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação)–Curso de Engenharia Civil, Centro Universitário Luterano de Palmas, Palmas/TO, 2020.

O estudo de caso foi elaborado na Ponte de Porto Nacional construída em 1978, localizada sobre o Rio Tocantins. De acordo com o Jornal O Paralelo 13 (2015) após cinco anos da construção dessa obra de arte especial surgiram às primeiras flechas excessivas nas extremidades dos balanços, causando manifestações patológicas de alinhamento originadas pelas deformações. Já em 2003 o Laboratório de Sistemas Estruturais (LSE) emitiu um diagnóstico estrutural que recomendava a redução do tráfego, com controle de veículos pesados e um programa de inspeção e monitoramento. Em 2010 a LSE realizou nova inspeção ao qual constatou um grande aumento nas patologias em toda a estrutura da ponte. O Governo do Tocantins no dia 07 de Fevereiro de 2019 em conjunto com a Agência Tocantinense de Transportes e Obras (AGETO) decidiu interditar por completo o tráfego de veículo sendo permitida apenas a travessia de pedestres pelo local ate que fossem tomadas providencias preventivas de manutenção. Após a realização da manutenção na ponte, no dia 17 de junho de 2019 o Governo do Tocantins fez a liberação das vias para tráfego leve. Devido ao histórico problemático desta ponte o presente estudo de caso apresenta uma análise das manifestações patológicas de cada pilar avaliando a real situação comparando com as inspeções anteriores e apresentando a evolução da deterioração. Pode-se verificar um grande aumento das manifestações patológicas na estrutura, evidenciando o crescente aumento das aberturas das fissuras, constatando a presença da reação álcali-agregado e reforçando a necessidade do cumprimento das medidas recomendadas nos laudos de inspeção realizadas anteriormente.

Palavras-chave: Ponte. Manifestação patológica. Manutenção.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AGETO	Agência Tocantinense de Transportes e Obras
CCA	Classe de Agressividade Ambiental
CEULP	Centro Universitário Luterano de Palmas
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
LSE	Laboratório de Sistemas Estruturais
NBR	Normas Brasileiras
OAE	Obra de Arte Especial
RAA	Reação Álcali-Agregado
SERGEN	Serviços Gerais de Engenharia
ULBRA	Universidade Luterana do Brasil

LISTA DE SÍMBOLOS

Km/h	Quilometro por hora
m ²	Metros quadrados
m	Metro
Mm	Milímetro
wk	Abertura máxima característica das fissuras

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Classe de agressividade ambiental (CAA)	21
Tabela 2 - Correspondência entre a classe de agressividade ambiental e o cobrimento nominal para $\Delta c = 10$ mm	21
Tabela 3 - Vida útil mínima de projeto para várias normas.....	23
Tabela 4 - Classificação da condição de OAE segundo os parâmetros estrutural, funcional e de durabilidade.....	27
Tabela 5–Cargas dos veículos e cargas uniformemente distribuídas	38
Tabela 6–Cargas dos veículos e cargas uniformemente distribuídas	39
Tabela 7–Acréscimo de esforços em porcentagem do TB-45 em relação ao TB- 36	39
Tabela 8– Valores característicos da composição de carga permanente e carga móvel e porcentagem de acréscimo dos esforços do TB-45 em relação ao TB- 36	40
Tabela 9–Cobrimentos medidos nos pilares.....	41
Tabela 10–Identificação das amostras	42
Tabela 11–Evidências de reação álcali-agregado.....	45
Tabela 12–Aberturas das fissuras medias nos pilares	46
Tabela 13–Espessura das aberturas medidas in loco.....	47
Tabela 14–Comparativo das espessuras medidas dentro de um ano	48
Tabela 15–Evolução das aberturas nos pilares P4 e P6 entre 2016 a 2020.....	48
Tabela 16–Manifestações patológicas do pilar P1	61
Tabela 17–Manifestações patológicas do pilar P2	63
Tabela 18–Manifestações patológicas do pilar P3	66
Tabela 19–Manifestações patológicas do pilar P4	68
Tabela 20–Manifestações patológicas do pilar P5	71
Tabela 21 - Manifestações patológicas do pilar P6	74
Tabela 22 - Manifestações patológicas do pilar P7	77
Tabela 23 - Manifestações patológicas do pilar P8	80
Tabela 24 - Manifestações patológicas do pilar P9	83
Tabela 25–Classificação da OAE.....	86

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Elementos constituinte da ponte (Superestrutura, Mesoestrutura e Infraestrutura)	19
Figura 2 - Fissuras no pilar de uma ponte.....	29
Figura 3 - Detalhe do gel em poro preenchido e bordas de reação nos agregados	29
Figura 4 - Fissuras provenientes da reação Álcali-agregado	30
Figura 5 - Desgaste superficial do concreto	31
Figura 6 - Corrosão das armaduras, manchas e destacamentos do Concreto ...	32
Figura 7 - Vista superior da Ponte de Porto Nacional	34
Figura 8 - Vista da Ponte de Porto Nacional	35
Figura 9 - Croqui da Ponte de Porto Nacional.....	38
Figura 10 – Amostra CP-01. Bordas de reação álcali-agregado com caráter estratificado, em marrom e fissuras em cor azul. Polarizadores descruzados ..	43
Figura 11 – Amostra P4-05(1). Bolhas de ar aprisionado com núcleo vazio e borda preenchida por gel de reação álcali-silica, com cores variadas (incolor e marrom). Polarizadores descruzados.	43
Figura 12– Fachada jusante do pilar P4 em 2016.....	49
Figura 13 - Fachada jusante do pilar P4 em 2020	49
Figura 14 - Fachada montante do pilar P6 em 2016	50
Figura 15 - Fachada montante do pilar P6 em 2020	50
Figura 16 - Mapeamento das manifestações patológicas do pilar P1	51
Figura 17 - Mapeamento das manifestações patológicas do pilar P2	52
Figura 18 - Mapeamento das manifestações patológicas do pilar P3	53
Figura 19 - Mapeamento das manifestações patológicas do pilar P4	54
Figura 20 - Mapeamento das manifestações patológicas do pilar P5	55
Figura 21 - Mapeamento das manifestações patológicas do pilar P6	56
Figura 22 - Mapeamento das manifestações patológicas do pilar P7	57
Figura 23 - Mapeamento das manifestações patológicas do pilar P8	58
Figura 24 - Mapeamento das manifestações patológicas do pilar P9	59

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	14
1.1 Problema.....	15
1.2 Objetivos.....	15
1.2.1 <i>Objetivo Geral</i>	15
1.2.2 <i>Objetivos Específicos</i>	15
1.3 Justificativa.....	16
2 REFERENCIAL TEÓRICO	17
2.1 Concepção de Pontes	17
2.2 Pontes de Concreto Armado	18
2.3 Elementos das Pontes	19
2.3.1 <i>Superestrutura</i>	19
2.3.2 <i>Mesoestrutura</i>	19
2.3.2.1 Pilares	20
2.3.3 <i>Infraestrutura</i>	20
2.4 Durabilidade	20
2.5 Vida Útil	22
2.5.1 <i>Vida Útil de Projeto</i>	22
2.5.2 <i>Vida Útil de Serviço</i>	23
2.5.3 <i>Vida Útil Total</i>	23
2.6 Manutenção e Tipos de Inspeção.....	23
2.6.1 <i>Inspeção Cadastral</i>	24
2.6.2 <i>Inspeção Rotineira</i>	25
2.6.3 <i>Inspeção Especial</i>	25
2.6.4 <i>Inspeção extraordinária</i>	26
2.7 Critérios de Classificação e Avaliação do grau de deterioração das OAE (ABNT NBR 9452 / 2016)	26
2.8 Manifestações Patológicas.....	28
2.8.1 <i>Fissuras</i>	28
2.8.2 <i>Reação álcali-agregado</i>	29
2.8.3 <i>Desgaste Superficial do Concreto (Erosão)</i>	30
2.8.4 <i>Corrosão do Concreto</i>	31
2.8.5 <i>Corrosão das Armaduras</i>	31

2.8.6 Bolor	33
3 METODOLOGIA.....	34
3.1 Obra de Arte Especial em Estudo	34
3.2 Análise de Estudos Anteriores, Laudos e Normas Técnicas	35
3.3 Inspeção In Loco dos Pilares da Ponte de Porto Nacional	36
3.4 Comparativo da Evolução das manifestações patológicas	37
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	38
4.1 Análise Documental de Estudos Anteriores	38
4.1.1 Carga Móvel da Ponte de Porto Nacional	38
4.1.2 Cobrimento	41
4.1.3 Reação Álcali-Agregado (RAA).....	42
4.1.3.1 Análise Petrográfica.....	43
4.1.3.2 Análise Mineralógica por difratometria de raios-X.....	44
4.1.3.3 Análise microscopia eletrônica de varredura com espectrômetro de energia dispersiva acoplada	44
4.1.3.4 Resultados das análises laboratoriais.....	44
4.1.4 Espessuras das aberturas (fissuras, trincas, rachaduras e fendas)	46
4.2 Inspeção In Loco e Comparativo da Evolução das Manifestações Patológicas.....	46
4.2.1 Comparativo das Aberturas das fissuras entre 2016 a 2020	47
4.2.2 Mapeamento das Manifestações Patológicas.....	51
4.2.3 Catalogação das Manifestações patológicas	61
4.2.3.1 Pilar P1.....	61
4.2.3.2 Pilar P2.....	62
4.2.3.3 Pilar P3.....	66
4.2.3.4 Pilar P4.....	67
4.2.3.5 Pilar P5.....	70
4.2.3.6 Pilar P6.....	73
4.2.3.7 Pilar P7.....	77
4.2.3.8 Pilar P8.....	80
4.2.3.9 Pilar P9.....	82
4.2.4 Classificação da OAE.....	86
CONCLUSÃO.....	88
RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	90

REFERÊNCIAS.....	91
APÊNDICES	94
Apêndice A–Ficha de Inspeção especial	95
Apêndice b–Relatório Antiplágio.....	97

1 INTRODUÇÃO

Conforme Mendes (2003) pontes são estruturas em obras de artes especiais destinadas a transposição de obstáculos naturais tal qual rios, vales profundos, baías ou obstáculos criados pelo homem como centro urbano ou via expressa, nesse caso recebendo o nome de viaduto ou elevado.

Esta estrutura deve ter seu dimensionamento de forma funcional e viável economicamente oferecendo resistência as cargas aplicadas e previstas em estudo realizado previamente. Necessitando de planejamento de métodos de conservação e manutenção para garantir a durabilidade e vida útil da obra de arte especial (OAE).

De acordo com Vitório (2002) as pontes e viadutos na malha rodoviária brasileira não contam com procedimentos voltados à manutenção exceto em algumas situações o que ocasiona problemas de deterioração dessas estruturas. Isso se agrava nas construções antigas construídas a mais de quarenta anos, que não foram projetadas para suportar as cargas que hoje lhe são aplicadas devido ao aumento dos carregamentos dos veículos atuais.

Vitório (2002) ainda ressalta que o fato do poder público apenas se preocupar com as construções das obras sem definir um sistema de gerenciamento de conservação e manutenção provoca graves manifestações patológicas que geram riscos à segurança e funcionalidade, ocasionando ônus ao erário público que poderia ser evitado ou reduzido, caso houvesse um programa voltado a esse cuidado.

Este estudo de caso refere-se à Ponte de Porto Nacional construída em concreto armado e pretendido executada pela empresa Serviços Gerais de Engenharia (SERGEN) em 1978, sobre o Rio Tocantins, localizada na TO-050, TO-255 e TO-070.

O Laboratório de Sistemas Estruturais (LSE) emitiu um diagnóstico estrutural em 2003 que recomendava a redução do tráfego, com controle de veículos pesados e um programa de inspeção e monitoramento. Em 2010 a LSE realizou nova inspeção ao qual constatou um grande aumento nas manifestações patológicas em toda a estrutura da ponte. Conforme publicado pelo Jornal O Paralelo 13 (2015).

Somente em 2011 as recomendações da LSE foram atendidas através da PORTARIA SEINFRA/TO Nº 799, de 20 de setembro de 2011 que realizou a interdição de ambos os sentidos do tráfego para veículos de cargas com peso bruto superior a trinta toneladas.

O problema da Ponte de Porto Nacional vem desde sua construção, ao qual foi executado com agregado potencialmente reativos que geraram ataques químicos da reação álcalis agregados, prejudicando assim toda a estrutura.

Neste estudo de caso foram abordadas as manifestações patológicas existentes nos pilares da Ponte de Porto Nacional por serem elementos de grande relevância para a estrutura e que conforme os relatórios emitidos pela LSE apresentam algumas irregularidades afetando todo o conjunto. Deste modo foi realizada análise dos laudos e um comparativo da evolução dessas anomalias ao longo do tempo.

1.1 PROBLEMA

A deterioração das pontes pode estar ligada ao período de sua construção, ao uso ao qual foi destinada na concepção do projeto, ao grau de agressividade do meio ambiente em que está inserida e a falta de vistorias e manutenção.

Apesar de já existirem normas técnicas voltadas para uma padronização quanto à identificação, avaliação e classificação do estado de conservação de pontes, demonstrando a importância das intervenções e manutenções, ainda pouco se faz nesse quesito.

Com toda essa problemática devido à falta de programas voltados as inspeções e manutenções periódicas em obras de artes especiais vêm o questionamento:

Quais as principais manifestações patológicas encontradas nos pilares da Ponte de Porto Nacional?

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

Analisar o estado de conservação e as manifestações patológicas nos pilares da Ponte de Porto Nacional.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Realizar análise das informações técnicas e das manifestações patológicas desenvolvidas durante anos nos pilares da Ponte de Porto Nacional.
- Realizar inspeção in loco verificando e mapeando as anomalias desenvolvidas nos pilares segundo a Norma Brasileira NBR 9452/2016 Inspeção de Pontes, Viadutos e Passarelas de Concreto - Procedimentos.

- Comparar as informações, estudos anteriores e resultados descritos em laudos realizados na Ponte de Porto Nacional com os dados encontrados na inspeção realizada.

1.3 JUSTIFICATIVA

A Ponte de Porto Nacional detém grande importância para a população local que necessita realizar sua travessia diariamente. Sua estrutura está extremamente deteriorada gerando grande preocupação para a sociedade por serem obrigados a utilizarem uma estrutura antiga que apresenta várias manifestações patológicas visíveis a olho nu, ocasionando imenso desconforto ao usuário.

Esta ponte também possui grande relevância para a produção agrícola da região que necessita desta passagem e que há oito anos está sendo prejudicada pela sua interdição parcial. Os caminhões pesados que transportam grãos são obrigados a encontrarem rotas alternativas ou realizar a travessia através de balsa, estas restrições acarretam altos prejuízos, gerando grande impacto na economia.

Considerando os fatores mencionados este estudo de caso é de imensa importância, pois foram abordadas as principais manifestações patológicas encontradas nos pilares, as caracterizando e identificando seus mecanismos e origens.

Este trabalho demonstrou a evolução dessas anomalias, fazendo um comparativo da situação anterior com a situação atual da ponte, realçando a necessidade de se encontrar soluções construtivas para recupera ou minimizar os danos que se agravam com o passar do tempo, pois a falta total de manutenção poderá acarretar o colapso da peça.

Supracitado o estudo de caso se justifica pela grande relevância do tema para a sociedade e para produção agrícola que vem sendo prejudicada durante anos com a atual condição da Ponte de Porto Nacional.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 CONCEPÇÃO DE PONTES

Conforme Araújo (2014) obra de arte especial é uma estrutura com a finalidade de transpor obstáculos como vales, rios, avenidas, dentre outros, devendo suportar a cargas moveis provenientes de veículos, ventos, águas que atingem a mesoestrutura e a infraestrutura, estando preparada para as variações de temperatura que provocam retração e dilatação.

De acordo com o Departamento Nacional de Infraestrutura de transportes (DNIT), (2010) a vida útil desejada para uma ponte de concreto armado é de no mínimo cem anos. Para se atingir esta durabilidade é necessários cuidados na fase de projeto, execução, devendo apresentar um plano de inspeções e manutenção.

Na idealização do projeto de pontes deve se realizar estudos topográficos, geológicos, hidrográficos, conhecendo desta forma a agressividade ambiental, projetando uma estrutura funcional com materiais adequados as características da obra.

Na concepção é importante observar à função para a qual será utilizada, a extensão, os vãos livres necessários para a passagem de embarcações, a localização, os acessos, os tipos de materiais que poderão ser empregados na fabricação ou montagem, além do desenvolvimento da parte estética, pois esta terá domínio sobre a paisagem local.

A escolha de materiais de boa qualidade e uma dosagem equilibrada permite a obtenção de alta resistência mecânica, baixa porosidade e baixa permeabilidade garantindo a durabilidade e baixa fissuração.

Devem-se prever sistemas de drenagem dos pontos de maior declividade sendo bem planejados para o perfeito escoamento evitando ao máximo o acumulo das águas pluviais, excluindo a possibilidade de sua infiltração.

As fundações devem ser projetadas de acordo com o laudo de sondagem, obedecendo às cargas que lhe serão impostas ao longo da sua vida útil, evitando recalques excessivos que provocam deformações na estrutura. Portanto é importante realizar estudo de tráfego rodoviário na localidade e sua projeção a um determinado período de tempo.

A estrutura deve apresenta proteção contra choques de embarcações maiores que o gabarito da ponte e proteção de impacto de veículo.

2.2 PONTES DE CONCRETO ARMADO

Segundo Marchetti (2018) uma ponte deve conter cinco requisitos principais que são eles:

A funcionalidade que está relacionada à necessidade de desempenhar com êxito as exigências de conforto de quem a utiliza;

A segurança que está ligado aos materiais empregados em sua construção, devendo estes ter a capacidade de resistir aos esforços que lhe serão submetidos.

A estética que se refere à forma como esta será mostrada aos usuários, devendo apresentar harmonia, beleza, um aspecto agradável, sem prejuízos ambientais.

A durabilidade que se remete e à necessidade de atender as medidas especificadas na ABNT NBR 6118/2014, para obter a capacidade de resistir as influências ambientais durante o período de sua vida útil.

A economia estando associada aos estudos de pré-projeto, onde se escolherá as melhores soluções construtivas, garantindo que se obtenham todos os itens citados anteriormente com o máximo custo benefício.

Conforme Vitório (2002) as pontes são classificadas de três formas de acordo com a finalidade que são: rodoviária, ferroviária, rodoferroviária, passarela e aeroviária; ao tipo de material com madeira, pedra, metálicas, concreto armado, concreto protendido, pré-moldados; e ao sistema construtivo empregado em sua construção como por exemplo os tipos de laje, viga, vigas contínuas, vigas gerber, grelha, pórticos e estaiadas.

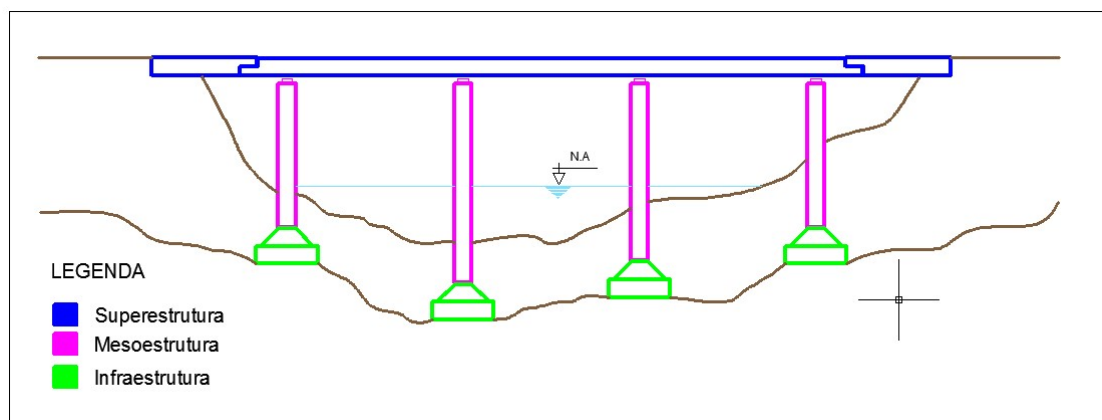
De acordo com Fernandes e Correia (2017) existem ainda outras formas de classificação, como pelo comprimento (galeria de 2 a 3 m; pontilhões de 3 a 10 m e pontes acima de 10 metros); desenvolvimento planimétrico (retas ortogonais ou esconsas; curvas); desenvolvimento altimétrico (retas horizontais ou em rampa, curvas convexo ou côncavo); seção transversal (laje maciça ou vazada, viga T, treliça); posição do tabuleiro (superior, inferior e intermediário).

O concreto armado é o mais usado em obras de artes especiais principalmente devido aos avanços tecnológicos, que melhoram a qualidade dos materiais e de suas resistências. Quando há a necessidade de superar grandes vãos utilizam o concreto protendido na sua superestrutura, sendo que o concreto armado é executado na mesoestrutura e na infraestrutura.

2.3 ELEMENTOS DAS PONTES

Conforme Mendes (2003) as pontes são compostas por três estruturas denominadas de superestrutura, mesoestrutura e infraestrutura, conforme exposto na figura 1.

Figura 1 - Elementos constituinte da ponte (Superestrutura, Mesoestrutura e Infraestrutura)



Fonte: Próprio Autor (2019)

2.3.1 Superestrutura

A superestrutura é responsável por receber as cargas produzidas pelo . São elas às lajes, vigas principais, cortinas, dentes gerber, consoles chanfros e etc.

Na concepção da superestrutura pode ser usadas, vigas de alma cheia, treliças, vigas em caixão, pórticos, arcos, vigas mistas, suspensas por cabos, estaiadas e pênséis.

Conforme Pinho (2007) as dimensões horizontais para pista única deve apresentar largura interna de 3,90 metros e total de 4,20 metros sem passeio, a pista dupla largura interna de 9,00 metros e total de 9,80 metros sem passeio. As dimensões verticais devem ter altura entre a pista inferior a mesa inferior da viga no mínimo 6,00 metros em rodovias federais e nas municipais podem apresentar 5,00 metros.

2.3.2 Mesoestrutura

A mesoestrutura é composta por aparelhos de apoio, pilares, vigas de contraventamento, etc. que recebem as cargas da superestrutura, peso próprio e do tráfego, transmitindo as para a infraestrutura, de acordo com Marchetti (2008).

Os elementos básicos são os pilares e os encontros que são os elementos que sustentam as extremidades, na transição entre a ponte e o aterro da rodovia, podendo ser substituídos por superestruturas em balanço.

2.3.2.1 Pilares

Conforme Scadelai e Pinheiros (2005) pilares são estruturas lineares com eixo reto, dispostos na vertical em que as forças normais de compressão são dominantes, tendo a função de receber as cargas atuantes e conduzi-las para as fundações.

Segundo Mendes (2003) pilares de pontes compreende as soluções de pilar único ou de pilar independentes dependendo do tipo de superestrutura e altura adotada. A escolha por pilares comuns é de caráter estético, promovendo melhor harmonia e proporcionam melhor visibilidade para navegação, além de garantir menor consumo de materiais.

De acordo com a NBR 6118/2014 pilar parede é um elemento disposto na vertical submetido à compressão podendo ser compostos por uma ou mais superfícies associadas devendo apresentar a menor dimensão 1/5 da maior.

Os pilares devem apresenta armadura nas duas direções, vertical combatendo os esforços horizontais, flambagem, ventos, etc. e horizontais combatendo as fissuras.

Para reduzir as anomalias provenientes da erosão geralmente executa os pilares com as faces arredondadas.

2.3.3 Infraestrutura

A infraestrutura é o elemento estrutural de fundação que recebe cargas e ações verticais, horizontais longitudinais e transversais transmitindo-as ao solo que apresente capacidade de suporte, conforme DNIT (2015).

As fundações podem ser classificadas de diretas (blocos e sapatas) e indiretas (estacas e tubulões) não podendo causar danos as estruturas vizinhas e a escolha do tipo depende das condições do terreno da obra que será verificada através dos laudos de sondagem realizados.

2.4 DURABILIDADE

Conforme ISO 13823 (2015) durabilidade é a capacidade de a estrutura suportar as influências ambientais prevista e o processo de envelhecimento, com manutenções planejadas, durante um período especificado, devendo toda construção ser projetadas e construídas de acordo com as condições ambientais da localidade conservando sua segurança e estabilidade no período de sua vida útil.

Conforme Helene (1997) a agressividade ambiental está ligada as ações físicas e químicas que agem nas estruturas de concreto, sendo independentes as ações mecânicas, variações térmicas, como retração, etc.

A classificação da agressividade vai depender da condição de micro e macro clima da região, conforme tabela 1; a escolha da qualidade e do recobrimento do concreto está condicionada a classificação ambiental, de acordo com a tabela 2.

Tabela 1 - Classe de agressividade ambiental (CAA)

Classe de agressividade ambiental	Agressividade	Classificação geral do tipo de ambiente para efeito de projeto	Risco de deterioração da estrutura
I	Fraca	Rural	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

Tabela 2 - Correspondência entre a classe de agressividade ambiental e o cobrimento nominal para $\Delta c = 10$ mm

Tipo de estrutura	Componente ou elemento	Classe de agressividade ambiental (Tabela 6.1)			
		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

2.5 VIDA ÚTIL

De acordo com a NBR 6118 (2014) vida útil é o período de tempo que a estrutura é capaz de manter as características da estrutura de concreto para a medida de tempo para qual foi projetada sem necessidade de intervenção que não foram previstas, ou seja, sem que haja a necessidade de recuperações.

Para que uma estrutura obtenha vida útil conjeturado são essenciais que sejam obedecidas às exigências de durabilidade que margeiam a deterioração das estruturas devido ao meio ambiente ao qual estão enquadrados.

De acordo com Tuutti (1982) a vida útil em relação à corrosão das armaduras passa por três períodos específicos: vida útil de projeto, vida útil de serviço e vida útil total.

2.5.1 Vida Útil de Projeto

A vida útil de projeto corresponde ao período de tempo que leva para os agentes agressivos com gás carbônico, cloreto, sulfato transpor a camada de recobrimento até atingir a armadura, sem que haja a corrosão, porém deixando o aço desprotegido, por isso a importância de obedecer ao recobrimento mínimo e a resistência do concreto indicado pela norma.

Portanto a vida útil de projeto depende das condições estabelecidas no projeto referente aos requisitos de durabilidade, apresentando um tempo mínimo em que a construção deve atingir sem que haja a necessidade de manutenções com altos custos.

De acordo com a revista Técnico-científica do CREA-PR (2013) as pontes devem atingir uma vida útil de projeto de cem anos conforme tabela 3.

Tabela 3 - Vida útil mínima de projeto para várias normas

Tipo de estrutura	Vida útil de projeto (VUP) mínima				
	BS 7543 (1992)	ISO 2394 (1998)	Fib 34 (2006) e EN 206-1 (2007)	NBR 15575 (2013)*	Fib 53 (2010)
Temporárias	≥ 10 anos	1 a 5 anos	≥ 10 anos	-	-
Partes estruturais substituíveis (Ex.: apoios)	≥ 10 anos	≥ 25 anos	10 a 25 anos	23 a 20 anos	25 a 30 anos
Estruturas para agricultura e semelhantes	-	-	15 a 30 anos	-	-
Estruturas <i>offshore</i>	-	-	-	-	≥ 35 anos
Edifícios industriais e reformas	≥ 30 anos	-	-	-	-
Edifícios e outras estruturas comuns	-	≥ 50 anos	≥ 50 anos	50 anos	≥ 50 anos
Edifícios novos e reformas de edifícios públicos	≥ 60 anos	-	-	-	-
Edifícios monumentais, pontes e outras estruturas de engenharia civil	≥ 120 anos	≥ 100 anos	≥ 100 anos	-	≥ 100 anos
Edifícios monumentais	-	-	-	-	≥ 200 anos

Fonte: Revista Técnico-científica do CREA-PR (2013)

2.5.2 Vida Útil de Serviço

A vida útil de serviço corresponde ao período de tempo que inicia a corrosão da armadura e esta começa a se expandir, causando manchas e fissuras, sendo este o ponto que a estrutura deve ser interditada para manutenção.

2.5.3 Vida Útil Total

A vida útil total é quando a estrutura entra em colapso. O colapso pode ser total ou parcial, portanto, a estrutura chega ao fim de sua vida útil quando não apresenta mais o desempenho esperado.

2.6 MANUTENÇÃO E TIPOS DE INSPEÇÃO

Toda obra ao longo de sua vida útil necessita de manutenções e reparos, conforme Ripper:

Entende-se por manutenção de uma estrutura o conjunto de atividades necessárias à garantia do seu desempenho satisfatório ao longo do tempo, ou seja, o conjunto de rotinas que tenham por finalidade o prolongamento da vida útil da obra, a um custo compensador. (RIPPER, 1998, P.21)

De acordo com Vitório (2002) a conservação das pontes rodoviárias é conceituada como as ações necessárias empregadas para se manter as características de resistência, função e estéticas para as quais foram projetadas. A primeira ação

corresponde à inspeção ou vistoria que é o procedimento técnico planejado que fornece informações atualizadas da obra.

Nas vistorias o local da obra deve ser investigado detalhadamente, os projetos devem ser analisados e observado se houve modificações. É importante realizar um registro fotográfico completo de todas as situações encontradas na inspeção.

Após a construção é extremamente importante que haja estas inspeções de forma a se identificar o aparecimento de pequenas manifestações patológicas que deveram ser corrigidas antes que haja a degradação da estrutura por completo, pois a total falta de manutenção reduz drasticamente a vida útil da obra.

Antes dos serviços de reparos das manifestações patológicas deve se investigar e identificar suas causas, origem e mecanismos, pois os tratamentos podem variar de acordo com o descoberto.

Conforme Vitório (2002) as inspeções realizadas em pilares devem ser analisadas tanto em conjunto como isoladamente, verificando a rigidez real com a definida em projeto. Deve se registrar todos os elementos como tipos de pilares (pilar isolado, pilar parede, maciço ou vazado), a estrutura adotada (pórtico, pilar esbelto, extremidade livre), estado da estrutura (recobrimentos, deterioração, condições de ligação com as fundações) e desgastes devido às condições ambientais (erosão, vibrações).

As vistorias e inspeções devem ser realizadas conforme a ABNT NBR 9452/2016 que apresenta quatro tipos de inspeções em obras de artes especiais as quais realizam a coleta de dados, gerando um diagnóstico e prognóstico da estrutura com o objetivo de manter ou restabelecer as condições de segurança, funcionalidade e durabilidade da construção. São estas inspeções:

2.6.1 Inspeção Cadastral

A inspeção cadastral acontece imediatamente após a conclusão da obra ou quando há mudanças nas configurações como alargamento, reforços e mudanças na estrutura.

Nesta inspeção deve se apresentar, desenhos esquemáticos, registro fotográfico completo e datado com todas as vistas, mostrando os elementos estruturais e detalhes importantes, assim como as anomalias presentes.

As informações colhidas são armazenadas em formulários especificados na NBR 9452/2016, assim como a realização da classificação da OAE.

Esta inspeção auxiliara nas próximas vistorias que serão realizadas, portanto deve ser o mais completa possível apresentando todas as informações referentes à segurança e durabilidade da estrutura.

2.6.2 Inspeção Rotineira

A inspeção rotineira deve acontecer no máximo a cada ano para verificar a evolução de anomalias já observadas anteriormente e novas manifestações patológicas.

A inspeção ocorre de forma visual, podendo ser utilizado alguns equipamentos que auxiliem na investigação, além da utilização das fichas de inspeção contidos na NBR 9452/2016 e registro fotográfico.

Esta vistoria analisa o estado de conservação da estrutura, as alterações ocorridas e as anomalias que surgiram desde a última visita que possam apresenta risco a segurança.

2.6.3 Inspeção Especial

A inspeção especial ocorre a cada cinco anos. Em casos especiais que a obra se classifica de intervenção de longo prazo ocorrem a cada oito anos.

A inspeção especial deve apresentar descrição e informações gerais da OAE, assim como documentos, projetos se estiverem disponíveis, para então realizar a vistoria onde será feito o mapeamento gráfico e quantitativo de todas as anomalias em relatório.

Quando for necessária a realização de ensaios é preciso que sejam confeccionados croquis com a localização dos pontos de retirada dos corpos de prova. Os resultados devem apresentar laudos com interpretação.

O relatório deve apresentar diagnóstico com uma análise crítica de todas as manifestações patológicas encontradas, deste modo indicando a terapia necessária para a recuperação dos elementos afetados.

Esta inspeção é mais detalhada e cada elemento da OAE é investigado e tem suas manifestações patológicas registradas e classificadas conformes os parâmetros estrutural, funcional e de durabilidade.

2.6.4 Inspeção extraordinária

A inspeção extraordinária acontece quando há a necessidade de avaliar a OAE com maior critério devido a ocorrências especiais como inundações, efeitos sísmicos, impactos na estrutura decorrida por veículos, embarcações, etc.

Nesta inspeção é importante que prescreva as providencias necessárias para a recuperação do elemento analisado, assim como a solicitação de interdição caso necessário.

2.7 CRITERIOS DE CLASSIFICAÇÃO E AVALIAÇÃO DO GRAU DE DETERIORAÇÃO DAS OAE (ABNT NBR 9452 / 2016)

As OAE são classificadas de acordo com os parâmetros estruturais, funcionais e de durabilidade conforme o grau de deterioração detectado em inspeção.

Os parâmetros estruturais são referentes a estabilidade, capacidade portante e segurança estrutural do conjunto, levando em consideração o estado limite último e o estado limite de utilização especificados na ABNT NBR 6118.

Este parâmetro é o que se deve ter maior atenção e prioridade nos casos de recuperação quando apresentar anomalias visíveis de desempenho, pois podem comprometer toda a estrutura do conjunto.

Os parâmetros funcionais estão ligados aos fins de sua utilização, devendo oferecer conforto e segurança ao usuário, para isso os elementos devem estar íntegros e apresentar formas geométricas adequadas.

Os parâmetros de durabilidade são relativos ao tempo em que a OAE deve exercer suas funções sem necessidade de recuperações, ou seja, está relacionada à vida útil da estrutura.

Deste modo toda a estrutura deve apresentar resistência contra ataque de agentes ambientais agressivos, para tanto é necessário que o concreto tenha um revestimento adequado, protegendo as armaduras e evitando fissuras que permitam infiltrações, erosões entre outras manifestações patológicas que possam vir a prejudicar as funções estruturais.

Para a classificação da OAE realiza se uma avaliação do seu estado de conservação, conforme os parâmetros acima citados, a avaliação define notas que variam de 1 a 5 que correspondem a excelente, boa, regular, ruim ou crítica, de acordo com a configuração estabelecida na tabela 4.

Tabela 4 - 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.

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 comprometem 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.

2.8 MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS

De acordo com Ripper (1998) patologia das estruturas ocupa-se do estudo das origens, formas de manifestação, consequências e mecanismos de ocorrência das falhas e dos sistemas de degradação das estruturas. Não se referindo apenas as anomalias, mas também a concepção e ao projeto das estruturas, podendo ser ocasionada por diversos fatores como envelhecimento natural, acidentes ocorridos, utilização de materiais fora das especificações, etc.

A NBR 9452 (2016) caracteriza patologia como o estudo técnico especializado do fator que ocasiona anomalias, assim como alterações provocadas por estas nas obras de artes especiais.

Para evitar ou minimizar as manifestações patológicas deve-se realizar um programa de conservação e manutenção periódica nas estruturas. Segundo Ripper (1998) manutenção de uma estrutura são as atividades necessárias a garantir o desempenho satisfatório e o prolongamento da vida útil da estrutura com um bom custo benefício.

Os pilares das pontes, assim como todas as estruturas de concreto armado com o passar do tempo sofrem degradação, estas podem ser provenientes das cargas e velocidade dos veículos que vão aumentando as solicitações, das juntas de dilatação, dos aparelhos de apoio, fadiga, fissurações, etc.

Algumas das manifestações patológicas encontradas nos pilares são:

2.8.1 Fissuras

De acordo com o DNIT (2010) as manifestações patológicas são evidenciadas por fissuras e trincas (Figura 2) que são resultantes da fragilidade do concreto, sua quantidade, localização e as aberturas são fatores determinantes para classificar o grau de degradação.

Conforme Vitório (2003) fissura é o aparecimento de uma abertura no formato de uma linha na superfície com ruptura sutil de parte da massa, apresentando espessura de até 0,5 mm; já a trinca apresenta abertura de 0,5 mm a 1,00 mm. Quando a ruptura é acentuada dando para “ver” através dela, denomina-se de rachadura exibindo uma abertura entre 1,00 mm e 1,5 mm. Por fim quando esta abertura é superior a 1,5 mm nomeia-se de fenda.

Figura 2 - Fissuras no pilar de uma ponte



Fonte: Diário de Pernambuco, 2018

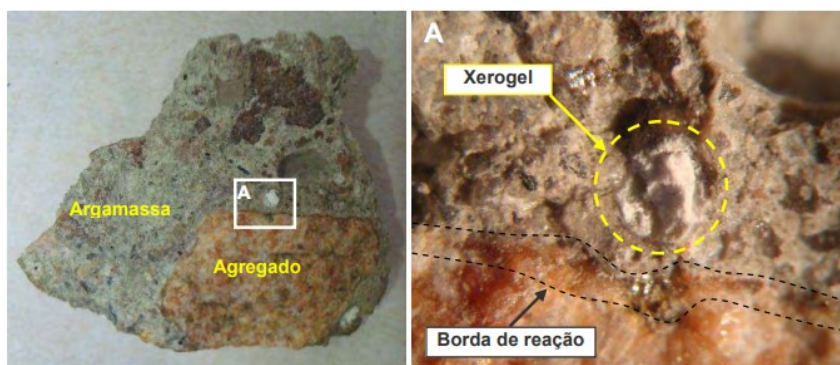
As causas das fissuras são físicas e podem ser provenientes da má realização da cura; retração; agressividade do meio ambiente; erros de concepção, erros de execução; recalques, carregamentos excessivos; acidentes, variação de temperatura; etc.

2.8.2 Reação álcali-agregado

De acordo com o DNIT (2010) a reação álcali-agregado ocorre em ambientes úmidos pela reação entre os álcalis presente no cimento e os minerais reativos como certos tipos de sílicas e carbonatos presentes no agregado.

Esta reação produz um gel (Figura 3) em volta do agregado, que absorve água se expandindo gerando tensões internas que causam trincas, podendo demorar anos para se manifestar devido ao seu processo lento.

Figura 3 - Detalhe do gel em poro preenchido e bordas de reação nos agregados



Fonte: Mizumoto, 2009

Segundo Fusco (2008) admite se teores de álcali inferiores a 0,06% do peso do cimento. Existem três tipos de reações expansivas a álcali-sílica, álcali-silicato e álcali-carbonato, sendo a álcali-sílica a mais prejudicial. O efeito de deterioração só ocorrerá se houver sílica reativa, álcali e água suficiente para que se gere uma expansão considerável.

A sintomatologia desta reação é a 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, conforme DNIT (2010).

As fissuras (Figura 4) que se formam devido à reação álcali-agregado propiciam a entrada de mais umidade o que ocasiona a aceleração da degradação. A identificação desta reação só pode ser confirmada através de exames de laboratório (microscopia eletrônica) com amostras extraídas da peça com a suspeita da manifestação patológica.

Figura 4 - Fissuras provenientes da reação Álcali-agregado



Fonte: Silva, 2019

2.8.3 Desgaste Superficial do Concreto (Erosão)

A erosão é o desgaste da estrutura provocada por meio de um fluido com partículas sólidas em suspensão. A sintomatologia é a perda de concreto nas regiões mais frágeis e aparecimento do agregado graúdo. (Figura 5)

Figura 5 - Desgaste superficial do concreto



Fonte: Aguiar; Baptista, 2011

2.8.4 Corrosão do Concreto

Conforme Vitório (2003) o concreto está sujeito a sofrer degradação na presença de agentes agressivos como ácidos, sulfatos, nitratos, nitritos, cloro e seus componentes, mesmo a água pura como a da chuva pode atacar o concreto através de infiltração. Normalmente os concretos de má qualidade, porosos, permeáveis e segregados, estão mais propensos a estes ataques.

O DNIT (2010) afirma que a corrosão do concreto é um processo químico devido à reação da pasta de cimento com elementos químicos, ocasionando a dissolução do ligante ou formando outros compostos que se expandem deteriorando o concreto.

2.8.5 Corrosão das Armaduras

A corrosão das armaduras é uma das anomalias de maior incidência e perigosa, pois este processo de deterioração ocasiona a perda de seção do aço o que leva ao colapso da estrutura. O que vai definir a velocidade da corrosão é o nível de agressividade do meio ambiente e a resistência do material a esse meio. No caso do concreto armado o que vai definir é a qualidade deste concreto.

O recobrimento inadequado da armadura, a cura mal executada e o elevado fator água/cimento ocasionam a porosidade do concreto provocando fissuras que são fatores que ajudam no processo de corrosão das armaduras.

Segundo Granato (2002) a corrosão das armaduras pode ter sua origem por ação química ou eletroquímica, de forma que o aço se modifique continuamente se transformando em ferrugem. (Figura 6)

Figura 6 - Corrosão das armaduras, manchas e destacamentos do Concreto



Fonte: Inspeção LSE, 2017

A corrosão química ou oxidação é resultado da reação do ar atmosférico com o aço, formando compostos de óxido de ferro, este processo é lento e não deteriora substancialmente as armaduras. Já a corrosão eletroquímica que ocorre em meio aquoso é mais grave e se transforma em óxidos e hidróxidos de ferro a conhecida ferrugem, conforme Granato (2002).

As armaduras dentro do concreto possuem uma proteção física que é o cobrimento de concreto e uma proteção química que é proveniente da passivação desta armadura.

Conforme Fusco (2008) as armaduras dentro do concreto estão protegidas da corrosão pela passivação do aço proveniente da alcalinidade do meio ambiente, pois o PH da água existente nos poros chega a 12,5. Esta alcalinidade forma uma camada protetora microscópica impermeável de óxido de ferro, chamada película passivadora.

Porem esta camada pode ser destruída por constantes ataques de agentes agressivos que ocasionam a redução do PH para abaixo de 9 por efeitos da carbonatação da camada de recobrimento de concreto; presença de íons cloreto, poluição do meio ambiente e por lixiviação do concreto.

Segundo Andrade (1992) a corrosão em armaduras é identificada através de manchas de óxidos/hidróxidos na superfície do concreto ou destacamentos, fissuras paralelas as armaduras, mas também pode estar presente sem que esteja visível na superfície do concreto.

Em processo avançado de corrosão as armaduras podem ter sua seção diminuída e sua aderência com o concreto reduzida ou eliminada, nestes casos a estrutura deve ser reforçada.

2.8.6 Bolor

Conforme Freire, (apud Caneva, Nugari e Salvadori 2000) bolor se manifesta pela ação de microrganismos denominados de fungos filamentosos, estes decompõem a matéria orgânica. Geralmente apresentam se superficialmente causando danos na estética, mas a penetração do micélio fungico pode ser profunda, chegando a atingir um centímetro de profundidade, ocasionando a perda de coesão o que provoca a desagregação do material.

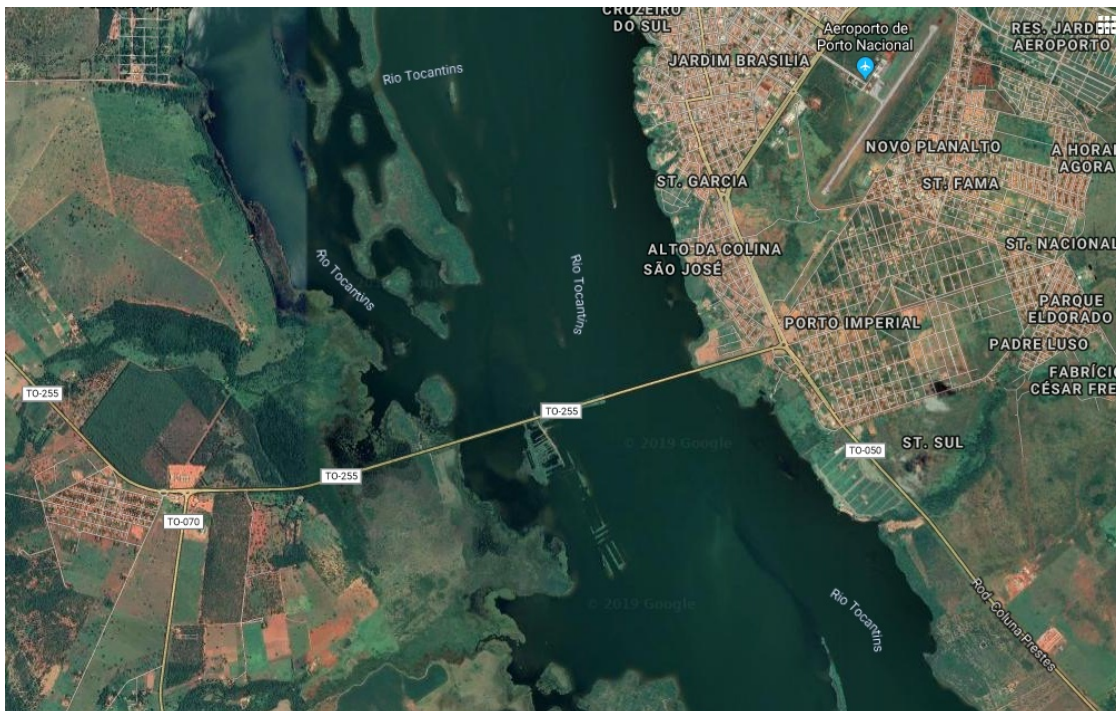
Bolor é um mecanismo biológico caracterizado pela proliferação de fungos decorrente da umidade constante, ausência de luz e ventilação provocando manchas verdes ou escuras. Em obras de artes especiais são decorrentes da falta de estanqueidade das juntas de dilatação, problemas no sistema de drenagem gerando infiltrações.

3 METODOLOGIA

3.1 OBRA DE ARTE ESPECIAL EM ESTUDO

A obra de arte especial objeto deste estudo é a Ponte de Porto Nacional construída em 1978, sobre o Rio Tocantins, demonstrada na figura 7 e 8.

Figura 7 - Vista superior da Ponte de Porto Nacional



Fonte: Reprodução/Google Maps (2019)

Conforme dados disponível no Decreto nº 5.907, de 12 de fevereiro de 2019, a ponte possui uma extensão de 900 metros de comprimento, 13,40 metros de largura, contando com nove pilares, oito vãos de 97,80 metros e dois vãos de 58,80 formados por vigas isostáticas.

A ponte apresenta faixa simples com sentidos de Porto Nacional para Fátima, passarela para pedestres nos dois lados da via, protegida do lado voltada para o rio por guarda corpo metálico e do lado voltado para a pista por barreiras New Jersey.

Na estrutura as vigas intermediarias são em dente Gerber apoiada nos aparelhos de apoio de neoprene fretado. No ponto mais alto, no meio da ponte, os pilares chegam a 32 metros de altura e os caixões de seção unicelular variável têm 5,51 metros. A fundação é composta por cinco tubulões de 1,6 metros de diâmetro, coroados com blocos de concreto de 10,6 x 8 metros ao qual apóiam os pilares que se engastam nas vigas.

Conforme o projeto executivo esta ponte foi executada de acordo com as normas estabelecidas para rodovias de características da classe I, trem-tipo classe 36, que apresenta peso do veículo de 36 tf.

Figura 8 - Vista da Ponte de Porto Nacional



Fonte: Arquivo próprio (2019)

A ponte em 2011 foi interditada para tráfego de veículos com carga bruta superior a 30 toneladas e a velocidade máxima foi delimitada para 40 km/h, neste período foram executados reparos não eficientes na pista de rolagem e passeio para pedestres. Não apresentando sinalização quanto ao limite de velocidade, sendo muitas vezes desobedecidas as recomendações.

Em 2019 o limite de carga máxima passou a ser de 3,5 toneladas sendo instalado um delimitador de altura de 2,20 m e estabelecida a velocidade máxima de 60 km/h.

3.2 ANÁLISE DE ESTUDOS ANTERIORES, LAUDOS E NORMAS TÉCNICAS

O embasamento teórico ocorreu através da consulta a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), ABNT NBR 9452/2016 e ABNT NBR 6118/2014, pesquisa a literatura da área de construção civil, revistas científicas, artigos científicos e publicações jornalísticas retratando a história da Ponte de Porto Nacional.

Não foram retirados corpos de prova da estrutura para realização de ensaios, desta forma foi realizado estudo e análise dos ensaios executados pelo Laboratório de Sistemas Estruturais (LSE) ao qual já emitiu anteriormente em 2003, 2010, 2015, 2016 e 2017 laudos e relatórios referentes a Ponte de Porto Nacional, solicitados na Agência Tocantinense de Transportes e Obras (AGETO).

Com os laudos disponibilizados pela AGETO foi realizado um comparativo das informações contidas nele e os dados recolhidos na inspeção especial realizada em campo, verificando todas as alterações que ocorreram entre cada investigação.

3.3 INSPEÇÃO IN LOCO DOS PILARES DA PONTE DE PORTO NACIONAL

Além da fundamentação teórica foi executada pesquisa em campo, sendo realizada vistoria nos pilares da Ponte de Porto Nacional. Foram realizadas duas inspeções, a primeira em 2019 e a segunda em 2020 para embasar as análises e comparações apresentadas.

A primeira inspeção realizada no dia 31 de agosto de 2019 foi visual para adquirir uma visão geral da estrutura da ponte, sendo observando os elementos que a compõe, suas posições, condições, características atuais, identificando os acessos e restrições existentes para a realização do estudo.

Nesta primeira inspeção foram observadas de um modo geral as manifestações patológicas existentes, realizando registro fotográfico geral da ponte, descendo por terra para debaixo da ponte, sendo possível a observação apenas dos pilares P1 e P9.

A segunda inspeção realizada no dia 22 de janeiro de 2020, seguindo os critérios da inspeção especial da NBR 9452/2016 onde houve de cada pilar o registro fotográfico, a catalogação e mapeamento das manifestações patológicas, medições das espessuras das fissuras, observação das armaduras exposta e cobrimento do concreto que havia sobre elas, sendo possível o preenchimento da tabela do anexo D da norma referente.

Com os dados da tabela do anexo D foi realizada a classificação da estrutura, que é de forma visual, segundo o grau de deterioração, avaliando seus parâmetros estruturais, funcionais e de durabilidade, ao qual classifica e afere avaliação que vai de excelente, boa, regular, ruim ou crítica, variando as notas de 1 a 5 de acordo com a degradação apresentada pela estrutura.

Os materiais utilizados na vistoria foram prancheta, formulários referentes à inspeção, máquina fotográfica para se registrar as anomalias encontradas, trena, régua

para a realização das medições necessárias que foram realizadas do nível da água até uma altura de aproximadamente 80 centímetros.

A aproximação para a realização da inspeção nos pilares da ponte foi através de um barco pequeno. Deste modo pode se chegar a cada pilar individualmente, efetuando medições, identificando e mapeando as anomalias encontradas na estrutura.

Após as inspeções foi desenvolvido um croqui da ponte com o auxílio do software AutoCAD identificando cada pilar que compõe a estrutura, facilitando a identificação e a localização de cada anomalia apresentada nas tabelas e laudos analisados. (Figura 9)

3.4 COMPARATIVO DA EVOLUÇÃO DAS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS

Após a junção de todos os laudos, estudos realizados na ponte e registro atualizado das manifestações patológicas existentes foram realizados análise dos resultados obtidos.

Com o estudo de livros na área de patologias das construções e dos laudos emitidos pela LSE foi possível identificar às possíveis causas, caracterizando as cientificamente, apontando os riscos à segurança provocada por estas deformidades presente nos pilares.

Houve uma análise crítica a respeito de cada manifestação patológica encontrada, elucidando suas características e realizando um comparativo com os estudos realizados anteriormente verificando desta forma a sua evolução através do tempo.

Deste modo pode se apontar onde surgiu evolução nas manifestações patológicas, agravando a situação da estrutura desde as primeiras inspeções até a data atual.

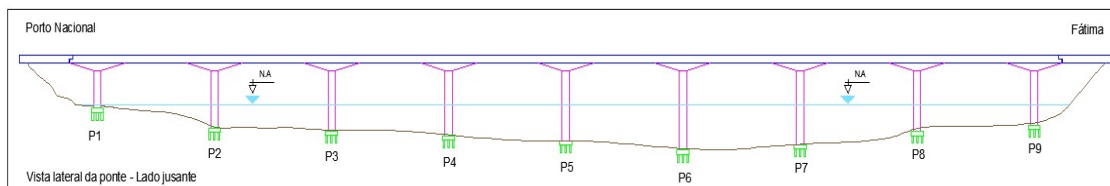
Foram elaboradas tabelas comparativas e explicativas, da evolução das aberturas das fissuras ao longo dos anos, os cobrimentos existentes nos pilares, as armaduras expostas, um quadro apresentando cada manifestação patológica nos pilares de forma individual.

O relatório fotográfico apresentou uma visão detalhada das irregularidades detectadas nos pilares, contendo anotações realizadas na inspeção especial e informações contidas nos laudos emitidos pela LSE.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para a identificação da localização dos pilares na ponte foi utilizada as mesmas nomenclaturas adotadas nas inspeções executadas anteriormente pela LSE. O primeiro pilar P1 encontra-se a margem de Porto Nacional, seguindo sucessivamente para a margem de Fátima, até o P9 conforme croqui apresentado na figura 9.

Figura 9 - Croqui da Ponte de Porto Nacional



Fonte: Próprio Autor (2020)

4.1 ANÁLISE DOCUMENTAL DE ESTUDOS ANTERIORES

4.1.1 Carga Móvel da Ponte de Porto Nacional

A Ponte de Porto Nacional foi executada conforme normas estabelecidas para rodovias de classe I, apresentando trem-tipo Classe 36, com características para veículos com peso total de 36 tf, conforme norma ABNT NB-6:1960 vigente da época, tabela 5. Porém até recentemente o tráfego de veículos eram de classe superior ao projetado.

Tabela 5 – Cargas dos veículos e cargas uniformemente distribuídas

Classe da Ponte	Veículo		Carga uniformemente distribuída			Classe da Rodovia
	Tipo	Peso Total (tf)	p (kg/m ²)	p' (kg/m ²)	Disposição da carga	
36	36	36	500	300	- Carga p à frente e atrás do veículo.	Classe I
24	24	24	400	300		Classe II
12	12	12	300	300	- Carga p' no restante da pista e passeios.	Classe III

Fonte: ABNT NB-6:1960

A ABNT NBR 7188:1984 atualizou as especificações e determinações quanto a cargas moveis para pontes rodoviárias, tabela 6, com essas alterações e as mudanças

de tráfego sobre a Ponte de Porto Nacional, ela passou a ter as características da classe 45.

Tabela 6 – Cargas dos veículos e cargas uniformemente distribuídas

Classe da Ponte	Veículo			Carga Uniformemente Distribuída				Disposição da carga
	Tipo	Peso Total		p		p'		
		KN	tf	KN/m ²	kgf/m ²	KN/m ²	kgf/m ²	
45	45	450	45	5	500	3	300	- Carga p em toda a pista - Carga p' nos passeios
30	30	300	30	5	500	3	300	
12	12	120	12	4	400	3	300	

Fonte: ABNT NBR 7188:1984

Em 2011 a LSE em seu relatório final de diagnóstico para recuperação estrutural propôs a comparação das solicitações dos veículos nas seções do eixo dos pilares nas duas classes de trem-tipo, TB-36 e TB-45. Tabelas 7 e 8.

Tabela 7 – Acréscimo de esforços em porcentagem do TB-45 em relação ao TB-36

	TB-36		TB-45		Acréscimo de esforços	
	Momento Fletor característico (kN.m)	Força Cortante (kN)	Momento Fletor característico (kN.m)	Força Cortante (kN)	Momento Fletor característico	Força Cortante
S1 _r	-48559,5	2330,9	-63839,9	3064,4	31,5%	31,5%
S1 _p	-55363,7	-2759,9	-72785,2	-3628,3	31,5%	31,5%
S2 _r	-48071,2	2325,8	-63197,9	3057,4	31,5%	31,5%
S2 _p	-48259,3	-2315,4	-63445,2	-3044,0	31,5%	31,5%
S3 _r	-47601,0	2318,4	-62579,7	3047,9	31,5%	31,5%
S3 _p	-47692,2	-2319,1	-62699,7	-3048,9	31,5%	31,5%
S4 _r	-47862,4	2320,6	-62923,4	3050,8	31,5%	31,5%
S4 _p	-47625,2	-2317,5	-62611,6	-3046,7	31,5%	31,5%
S5 _r	-48427,2	2323,6	-63665,9	3054,8	31,5%	31,5%
S5 _p	-48197,4	-2317,7	-63363,8	-3047,0	31,5%	31,5%
S6 _r	-50996,7	2326,6	-67044,0	3058,7	31,5%	31,5%
S6 _p	-54997,5	-2654,1	-72303,7	-3489,3	31,5%	31,5%
S7 _r	-50491,9	2337,2	-66380,4	3072,6	31,5%	31,5%
S7 _p	-50677,6	-2323,4	-66624,5	-3054,5	31,5%	31,5%
S8 _r	-48620,7	2316,4	-63920,4	3045,4	31,5%	31,5%
S8 _p	-50156,2	-2349,1	-65939,0	-3088,4	31,5%	31,5%
S9 _r	-40339,1	2076,2	-53032,7	2729,5	31,5%	31,5%
S9 _p	-47655,7	-2328,2	-62651,7	-3060,8	31,5%	31,5%

*“P” representa o lado voltado para Fátima e “r” o lado voltado para Porto Nacional

Fonte: LSE (2011)

Tabela 8 – Valores característicos da composição de carga permanente e carga móvel e porcentagem de acréscimo dos esforços do TB-45 em relação ao TB-36

	Carga permanente + TB-36		Carga permanente + TB-45		Acréscimo dos esforços	
	Momento Fletor característico (kN.m)	Força Cortante (kN)	Momento Fletor característico (kN.m)	Força Cortante (kN)	Momento Fletor característico	Força Cortante
S1 _f	-250308,0	14913,8	-265588,4	15647,3	6,1%	4,9%
S1 _p	-247126,0	-14854,5	-264547,5	-15722,9	7,0%	5,8%
S2 _f	-245702,7	14717,3	-260829,5	15449,1	6,2%	5,0%
S2 _p	-249144,3	-14832,4	-264330,2	-15561,0	6,1%	4,9%
S3 _f	-249043,6	14860,2	-264022,4	15589,7	6,0%	4,9%
S3 _p	-247278,6	-14806,9	-262286,1	-15536,6	6,1%	4,9%
S4 _f	-249640,1	14867,9	-264701,1	15598,1	6,0%	4,9%
S4 _p	-248857,5	-14855,0	-263843,9	-15584,2	6,0%	4,9%
S5 _f	-250230,5	14875,3	-265469,2	15606,5	6,1%	4,9%
S5 _p	-249586,2	-14849,0	-264752,6	-15578,3	6,1%	4,9%
S6 _f	-256824,7	14873,1	-272872,0	15605,2	6,2%	4,9%
S6 _p	-251597,5	-14862,9	-268903,8	-15698,1	6,9%	5,6%
S7 _f	-255647,8	14855,0	-271536,3	15590,5	6,2%	5,0%
S7 _p	-256310,3	-14860,1	-272257,2	-15591,2	6,2%	4,9%
S8 _f	-254603,1	14836,8	-269902,7	15565,7	6,0%	4,9%
S8 _p	-255047,5	-14854,4	-270830,3	-15593,6	6,2%	5,0%
S9 _f	-223945,1	13734,8	-236638,7	14388,2	5,7%	4,8%
S9 _p	-254207,0	-14895,3	-269203,0	-15627,9	5,9%	4,9%

* Admitindo que a carga permanente mantenha-se constante

Fonte: LSE (2011)

Pode se verificar que o trem-tipo para o TB-45 agrega um acréscimo de 31,5% de esforços sobre a estrutura em comparação ao TB-36. Ainda de acordo com as tabelas elaboradas pela LSE pode-se observar que os maiores acréscimos de esforços atuantes na estrutura se localizam no pilar P1.

Em sua análise a LSE concluiu que as solicitações do carregamento para o TB-45 não apresentou diferença significativa em relação às solicitações empregadas no projeto executivo, porem em suas recomendações solicitou a redução de tráfego para cargas inferiores a 30 tf.

O governo acatou a solicitação através da PORTARIA SEINFRA/TO N° 799 de 20 de Setembro de 2011, porem não foram intensificado a fiscalização, sendo ela insatisfatória, sem controle constante de balança para as grandes cargas, acarretando desta forma a desobediência da portaria com tráfego de veículos com cargas superiores ao determinado, principalmente durante a noite.

Conforme inspeção realizada e relatório final (2017) foram constatados a ineficiência do controle de cargas e velocidades, sendo comprovada a passagem de veículos pesados e acima da velocidade permitida, fazendo com que a ação destas cargas provoque a redução significativa da vida útil da OAE.

4.1.2 Cobrimento

A norma vigente para obras de concreto armado na época da construção da Ponte de Porto Nacional era a ABNT NB-1:1960 – Cálculo e execução de obras de concreto armado, que na época estabelecia para pilares ao ar livre e peças em contato com o solo, um cobrimento de 2 cm. No último caso deveria apresentar um acréscimo de 5 cm não computado nos cálculos caso o solo não fosse rochoso.

Estes parâmetros foram revisados e conforme a última atualização a ABNT NBR 6118:2014 estabelece cobrimento para pilares com classe de agressividade ambiental I o valor de 25 mm e para classe II, assim como para elementos estruturais em contato com o solo dentro das classes I e II o valor determinado é de 30 mm.

De acordo com estudo realizado por Silva (2019) onde realizou a medição dos cobrimentos dos pilares da Ponte de Porto Nacional, nos locais onde as armaduras estavam expostas, o cobrimento estabelecido não foi obedecido em nenhuma das normas citadas, ver tabela 9, exceto o pilar P7 que apresentou cobrimento de 48 mm, estando adequada tanto a norma da época, quanto a norma atualizada.

Tabela 9 – Cobrimentos medidos nos pilares

Elemento	Cobrimento (mm)
Pilar 1	5
Pilar 2	12
Pilar 3	6
Pilar 4	9,5
Pilar 5	0
Pilar 6	0
Pilar 7	48
Pilar 8	5
Pilar 9*	-

Nota. *Não foi medido o cobrimento devido à ausência de armadura exposta

Fonte: Silva (2019)

4.1.3 Reação Álcali-Agregado (RAA)

Em 2003 com a suspeita da reação entre os álcalis do cimento e o agregado empregado na obra o Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo foi contratada para executar análises petrográficas e análises mineralógicas por difração de raios X e por microscopia eletrônica de varredura com espectrômetro de energia dispersiva acoplado, para desta forma caracterizar a manifestação patológica responsável pelas fissuras que levam ao comprometimento da estrutura da OAE.

De acordo com Oliveira (2006) através desta análise é possível obter informações mineralógicas, textuais e microestruturais, conseguindo observar com foco grãos com dimensões de 10 μm , adquirindo descrição quanto ao tipo de agregado, caracterizando a pasta e os vazios, colhendo informações referentes à produção do concreto, sendo possível chegar a um diagnóstico qualitativo do comprometimento da estrutura devido à reação álcali-agregado.

Para a realização desta análise em 2003 foram retirados vinte e duas amostras, situadas em diversas peças da OAE conforme relacionado na tabela 10. Os locais escolhidos para a extração dos corpos de prova foram nos locais onde havia a sintomatologia da reação e em peças deteriorada por provável reação álcali-agregado.

Tabela 10 – Identificação das amostras

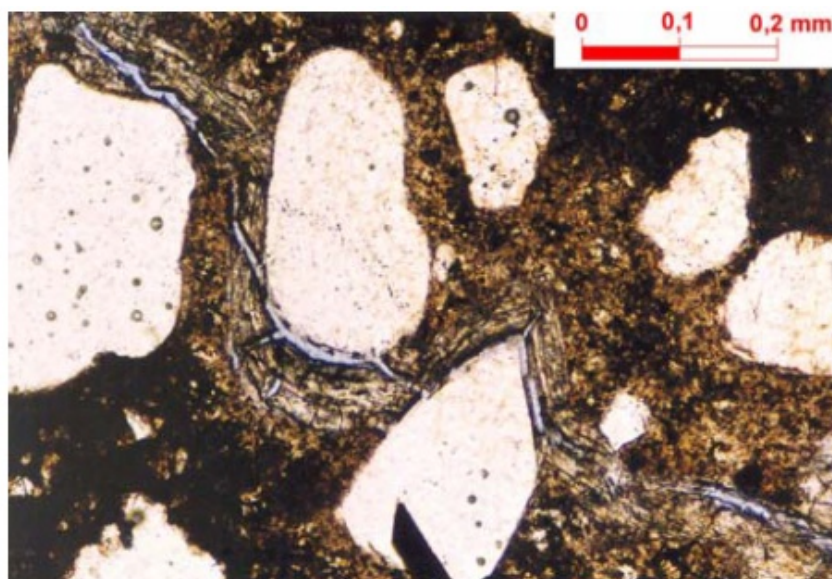
AMOSTRA	
Designação	Local de Retirada
CP – 01	Laje superior do caixão, balanço do pilar P5
CP – 12	Pilar P2
CP – 16	Longarina externa do caixão, balanço do pilar P6
C8	Longarina interna do caixão, balanço do pilar P8
C – 45	Longarina externa do caixão, balanço do pilar P5
C – 21	Longarina externa do caixão, balanço do pilar P4
C – 40	Longarina interna do caixão, balanço do pilar P3
P4-41	Bloco do pilar P6, posição 4
P4-08	Tubulão do pilar P6, posição 8
P4-05(1)	Bloco do pilar P6, posição 5
P4-06	Bloco do pilar P6, posição 6
P4-07	Tubulão do pilar P6, posição 7
P6-01(1)	Região submersa do pilar P4, posição 1
P6-04	Bloco do pilar P4, posição 4
P6-07	Tubulão do pilar P4, posição 7
P6-09	Tubulão do pilar P4, posição 9
Am. 11	Longarina interna do caixão, balanço do pilar P7
Am. 27	Longarina externa do caixão, balanço do pilar P2
Am. 39	Longarina externa do caixão, balanço do pilar P3
Am. 44	Longarina interna do caixão, balanço do pilar P5
Am. 48	Longarina interna do caixão, balanço do pilar P6
Am. 53	Longarina externa do caixão, balanço do pilar P9

Fonte: Oliveira (2006)

4.1.3.1 Análise Petrográfica

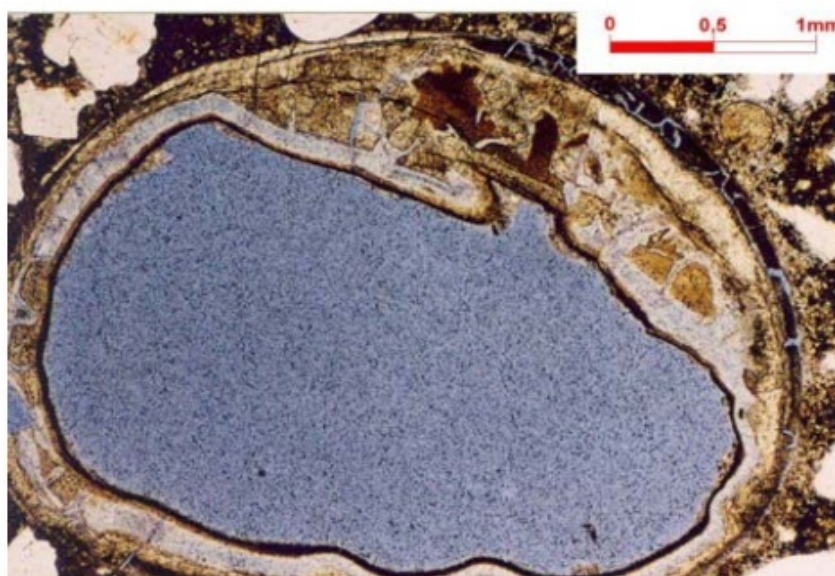
Nas vinte e duas amostras foram localizada na pasta cimentícia borda de reação na interface da pasta com agregados miúdos e graúdos, carbonatação fraca a moderada, “línguas” de gel, com origem nos agregados graúdos e fraturas submilimétricas preenchidas por gel. Figura 10 e 11.

Figura 10 – Amostra CP-01. Bordas de reação álcali-agregado com caráter estratificado, em marrom e fissuras em cor azul. Polarizadores descruzados



Fonte: Oliveira (2006)

Figura 11 – Amostra P4-05(1). Bolhas de ar aprisionado com núcleo vazio e borda preenchida por gel de reação álcali-silica, com cores variadas (incolor e marrom). Polarizadores descruzados.



Fonte: Oliveira (2006)

4.1.3.2 Análise Mineralógica por difratometria de raios-X

Nas treze análises executadas nos materiais macroscopicamente brancos, localizados nos vazios, foram encontrados etringita e carbonato, os quais podem ter sido formados pela reação álcali-agregado.

4.1.3.3 Análise microscopia eletrônica de varredura com espectrômetro de energia dispersiva acoplada

Nas amostras P4-05 e P4-05B se confirmou a reação álcali-agregado, com a presença de um gel composto por silício, cálcio e potássio na interface entre a pasta cimentícia e o agregado graúdo.

4.1.3.4 Resultados das análises laboratoriais

Conforme as análises realizadas pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo foram comprovadas a reação álcali-agregado na estrutura de concreto da OAE. As amostras mais comprometidas eram as CP-01, CP-12, CP-16, P4-01, P405, P6-04 e P6-07, conforme tabela 11.

A confirmação desta reação reitera o comprometimento da durabilidade da estrutura, sobretudo após o aumento da lamina de água acima de vinte metros com a formação do lago, fato este que acelera e amplia as reações químicas do álcali-agregado, gerando fissuras progressivas nos pilares da ponte agravando constantemente a deterioração da estrutura da OAE.

Tabela 11 – Evidências de reação álcali-agregado

Amostra	EVIDÊNCIAS DE REAÇÃO ÁLCALI-AGREGADO					
	Etringita identificada por DRX ou petrografia	Carbonatação localizada na pasta	Presença de gel			
			Bolhas de AA	Borda de agregado	Fraturas na pasta	Línguas originadas em agregados
CP-01		X	X	X		X
CP-12	X	X	X	X	X	
CP-16			X	X	X	
C-8	X					
C-45				X	X	
C-21					X	
C-40		X	X			
P4-01			X	X	X	
P4-08						
P4-05	X	X	X	X	X	
P4-05(1)						
P4-06	X			X		
P4-07			X		X	
P6-01(1)	X		X		X	
P6-04	X		X	X	X	
P6-07			X	X	X	
P6-09				X	X	
Am. 11						
Am. 27			X		X	
Am. 39						
Am. 44			X	X	X	
Am. 48					X	
Am. 53			X		X	

X: Amostras muito afetadas pela reação álcali-agregado

X: Amostras pouco afetadas pela reação álcali-agregado

X: Amostras não afetadas pela reação álcali-agregado

Fonte: Oliveira (2006)

Conforme inspeção e relatório final (2017) o ataque químico das reações álcali agregado se desenvolveram na presença de três fatores: presença de agregados potencialmente reativos; emprego de pasta com elevada alcalinidade e presença de água nas peças (saturação).

Foi comprovada a presença generalizada da reação álcali-agregado na infraestrutura, meso-estrutura e na superestrutura de forma a comprometer a ponte, ressaltando que esta reação é acelerada na presença de água, fator que vem agravando a integridade da estrutura.

4.1.4 Espessuras das aberturas (fissuras, trincas, rachaduras e fendas)

Conforme inspeção e relatório final (2017) a ponte vem apresentando uma ampliação das aberturas de sua estrutura atingindo os tubulões, blocos, pilares e tabuleiro, se destacando os pilares que na segunda fase de sua vida útil aumentou devido às reações álcali-agregado presente na OEA.

Conforme a NBR 6118 (2014) as fissuras em elementos estruturais de concreto são inevitáveis devido à fragilidade do concreto, devendo se buscar um controle da abertura dessas fissuras. A norma estabelece uma abertura máxima característica (w_k) para que não se exceda valores da ordem de 0,2 mm a 0,4 mm. Dentro deste limite as aberturas não possuem importância significativa na corrosão das armaduras passivas.

Esta determinação da norma vem para garantir a vida útil e a durabilidade da estrutura, protegendo de forma adequada as armaduras quanto à corrosão.

No estudo realizado por Silva (2019) pode se notar, tabela 12, que as aberturas de todos os pilares excedem o limite estabelecido pela norma, apresentando os pilares P4 e P6 os piores resultados.

Tabela 12 – Aberturas das fissuras medias nos pilares

Elemento	Abertura (mm)
Pilar 1	0,4 a 1,1
Pilar 2	0,9 a 5,0
Pilar 3	0,3 a 5,0
Pilar 4	0,5 a 8,5
Pilar 5	0,5 a 6,0
Pilar 6	0,5 a 7,0
Pilar 7	0,8 a 2,2
Pilar 8	0,7 a 1,5
Pilar 9	0,6 a 6,0

Fonte: Silva (2019)

4.2 INSPEÇÃO IN LOCO E COMPARATIVO DA EVOLUÇÃO DAS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS

Na inspeção in loco foram identificadas diversas manifestações patológicas, dentre elas a ocorrência de fissuras com características da reação álcali-agregado,

bolor, segregação do concreto, armaduras expostas e com presença de corrosão e manchas devido a infiltrações.

4.2.1 Comparativo das Aberturas das fissuras entre 2016 a 2020

Durante a inspeção realizada in loco foram medida as aberturas das fissuras próximas ao nível da água chegando aos resultados obtidos na tabela 13.

Tabela 13 – Espessura das aberturas medidas in loco

Elemento	Espessura das Aberturas Medidas (mm)
Pilar 1	5 a 7
Pilar 2	6 a 10
Pilar 3	4 a 9
Pilar 4	5 a 10
Pilar 5	9 a 12
Pilar 6	5 a 18
Pilar 7	5 a 8
Pilar 8	5 a 12
Pilar 9	5 a 10

Fonte: Próprio Autor (2020)

Foi identificada uma evolução nas aberturas das fissuras em todos os pilares, estando em maior proporção nas áreas próximas e abaixo do nível da água. Esta situação compromete a integridade das armaduras, que em alguns pontos já estão expostas e corroídas, prejudicando a durabilidade da estrutura.

O maior aumento das espessuras medidas dentro de um ano foi encontrado no pilar P6 com um aumento de 11 mm, seguido pelo pilar P8 que obteve um aumento de 10,5 mm, conforme tabela 14.

Este aumento consideravelmente grande em um período de um ano comprova a constante atuação da reação álcali-agregado, que geram fissuras ativas deteriorando a estrutura, sendo agravado nas áreas submersas e em que estão constantemente em contato com a água.

Tabela 14 – Comparativo das espessuras medidas dentro de um ano

Elemento	Espessura Máxima da Abertura (mm) Ano 2019	Espessura Máxima da Abertura (mm) Ano 2020	Aumento da Espessura (mm)
Pilar 1	1,1	7,0	5,9
Pilar 2	5,0	10,0	5,0
Pilar 3	5,0	9,0	4,0
Pilar 4	8,5	10,0	1,5
Pilar 5	6,0	12,0	6,0
Pilar 6	7,0	18,0	11,0
Pilar 7	2,2	8,0	5,8
Pilar 8	1,5	12,0	10,5
Pilar 9	6,0	10,0	4,0

Fonte: Próprio Autor (2020)

Para efeito de avaliar e comparar a evolução das manifestações patológicas foi confrontado os dados extraídos no relatório final da LSE de 2016, estudo realizado por Silva 2019 e a inspeção in loco efetuada no início de 2020, onde se analisaram os dois pilares com pior situação de acordo com a LSE, os pilares P4 e P6, conforme tabela 15.

Tabela 15 – Evolução das aberturas nos pilares P4 e P6 entre 2016 a 2020

Elemento	Espessura Máxima da Abertura (mm) Ano de 2016	Espessura Máxima da Abertura (mm) Ano de 2019	Espessura Máxima da Abertura (mm) Ano de 2020
Pilar 4	8	8,5	10
Pilar 6	6	7	18

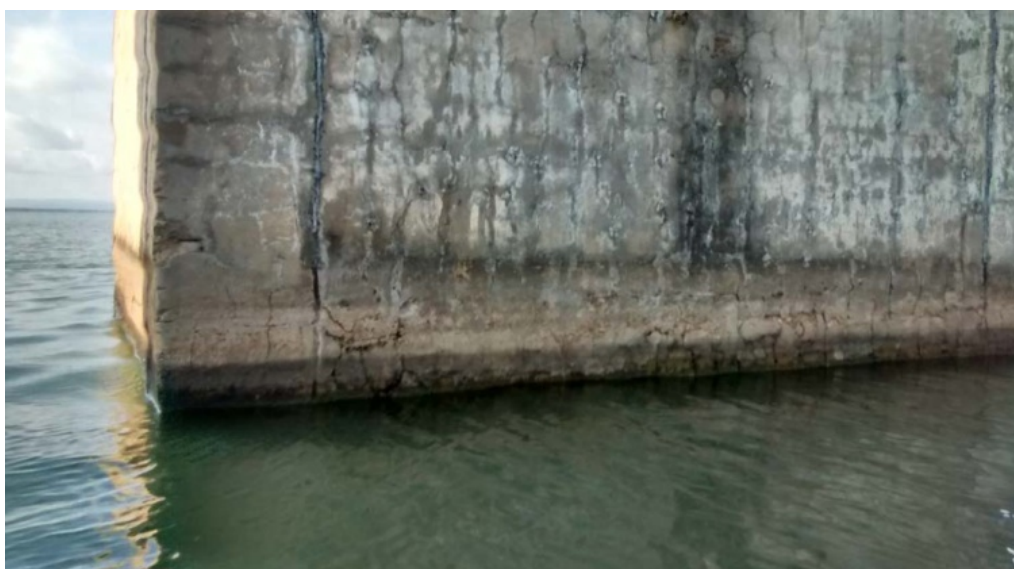
Fonte: Próprio Autor (2020)

Nota se que houve entre 2016 e 2019 um aumento de 0,5 mm e 1 mm de espessura nas aberturas respectivamente, já nas ultimas medições entre os anos de 2019 e 2020 houve um aumento consideravelmente grande de 1,5 mm e 11 mm respectivamente.

Entre 2016 e 2020 o aumento de espessura chegou a 2 mm e 12mm respectivamente, valores estes que comprovam a atuação progressiva da reação álcali-agregado, demonstrando uma rápida e crítica situação de deterioração da estrutura que apresenta grave risco estrutural e funcional.

Nas figuras 12 e 13 mostram o pilar P4 em 2016 e 2020, podemos verificar que durante este período de quatro anos surgiram novas fissuras por toda a estrutura e as existentes tiveram suas espessuras ampliadas expondo em alguns pontos a armadura da peça.

Figura 12 – Fachada jusante do pilar P4 em 2016



Fonte: Inspeção LSE, 2016

Figura 13 - Fachada jusante do pilar P4 em 2020



Fonte: Próprio Autor (2020)

Nas figuras 14 e 15 mostram o pilar P6 em 2016 e 2020, pelo posicionamento das armaduras exposta podemos verificar que o nível da água em 2020 esta elevado, encobrendo parte das fissuras, as quais estão em processo de evolução constante devido a comprovada existência de reação álcali-agregado.

A parte submersa da estrutura esta com suas manifestações patológicas agravadas e em processo progressivo de deterioração maior que as não submersas.

Figura 14 - Fachada montante do pilar P6 em 2016



Fonte: Inspeção LSE, 2016

Figura 15 - Fachada montante do pilar P6 em 2020

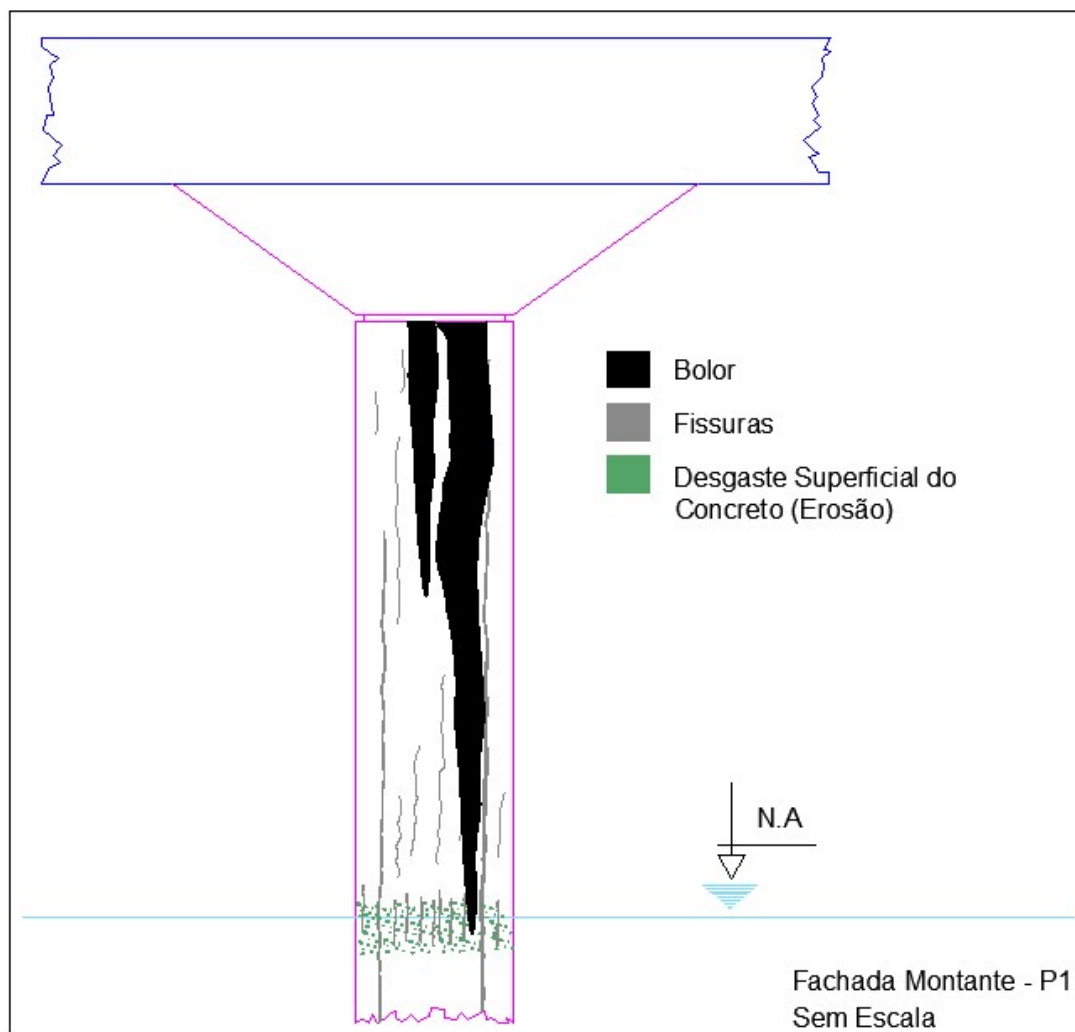


Fonte: Próprio Autor (2020)

4.2.2 Mapeamento das Manifestações Patológicas

As manifestações patológicas encontradas nos pilares se encontram basicamente nas mesmas posições em todos os pilares conforme apresentada nas figuras 16 a 24.

Figura 16 - Mapeamento das manifestações patológicas do pilar P1



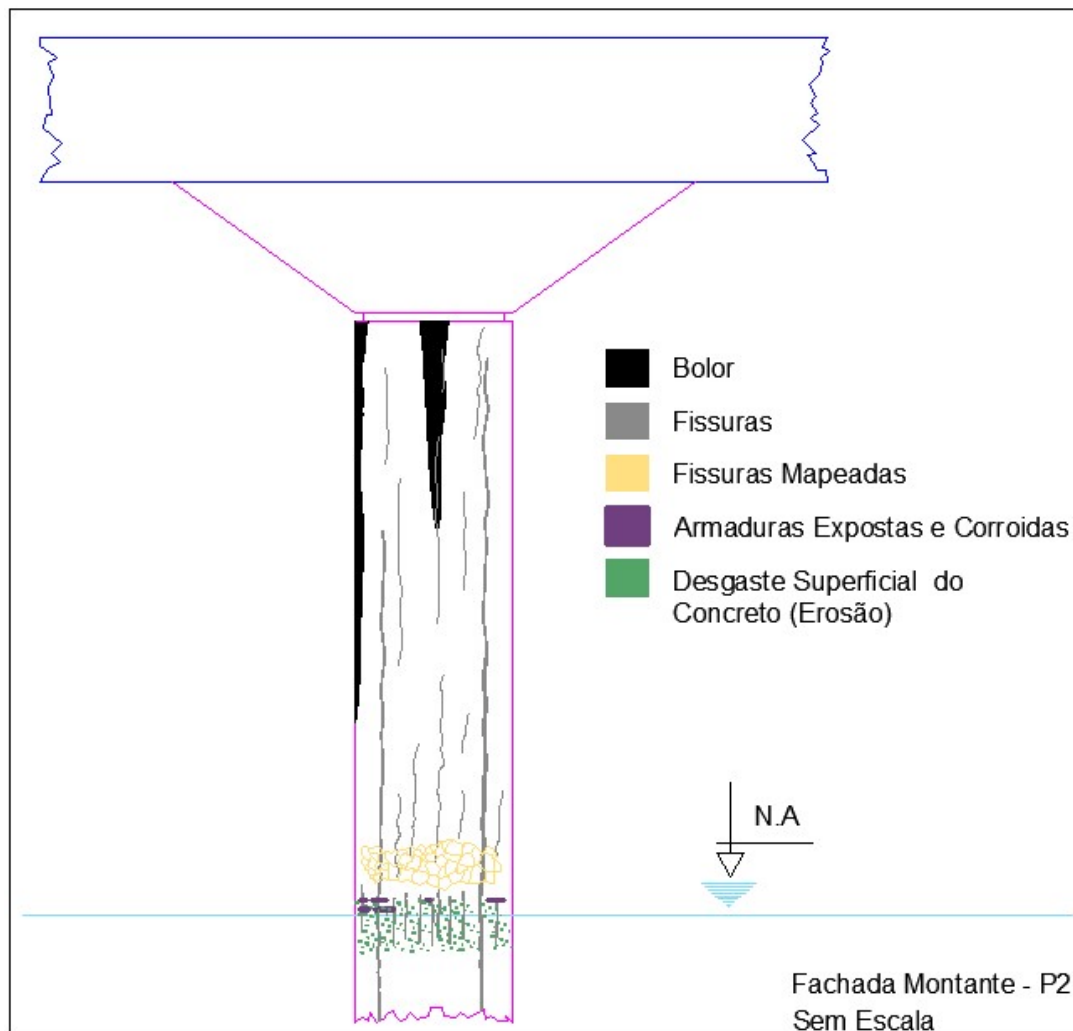
Fonte: Próprio Autor (2020)

Na fachada montante do pilar P1 as manchas escuras de bolor iniciam se próximas ao aparelho de apoio descendo pela extensão do pilar chegando até o encontro das águas.

Há desgaste superficial do concreto, conhecida como erosão do concreto decorrente da movimentação constante das águas com partículas solida finas em suspensão, estando a aproximadamente até uma altura de setenta centímetros acima da água, tendo maior proporção abaixo do nível da água.

Há a existência de fissuras por toda a extensão do elemento estrutural, desde a parte submersa, onde estas são maiores até o final da estrutura.

Figura 17 - Mapeamento das manifestações patológicas do pilar P2



Fonte: Próprio Autor (2020)

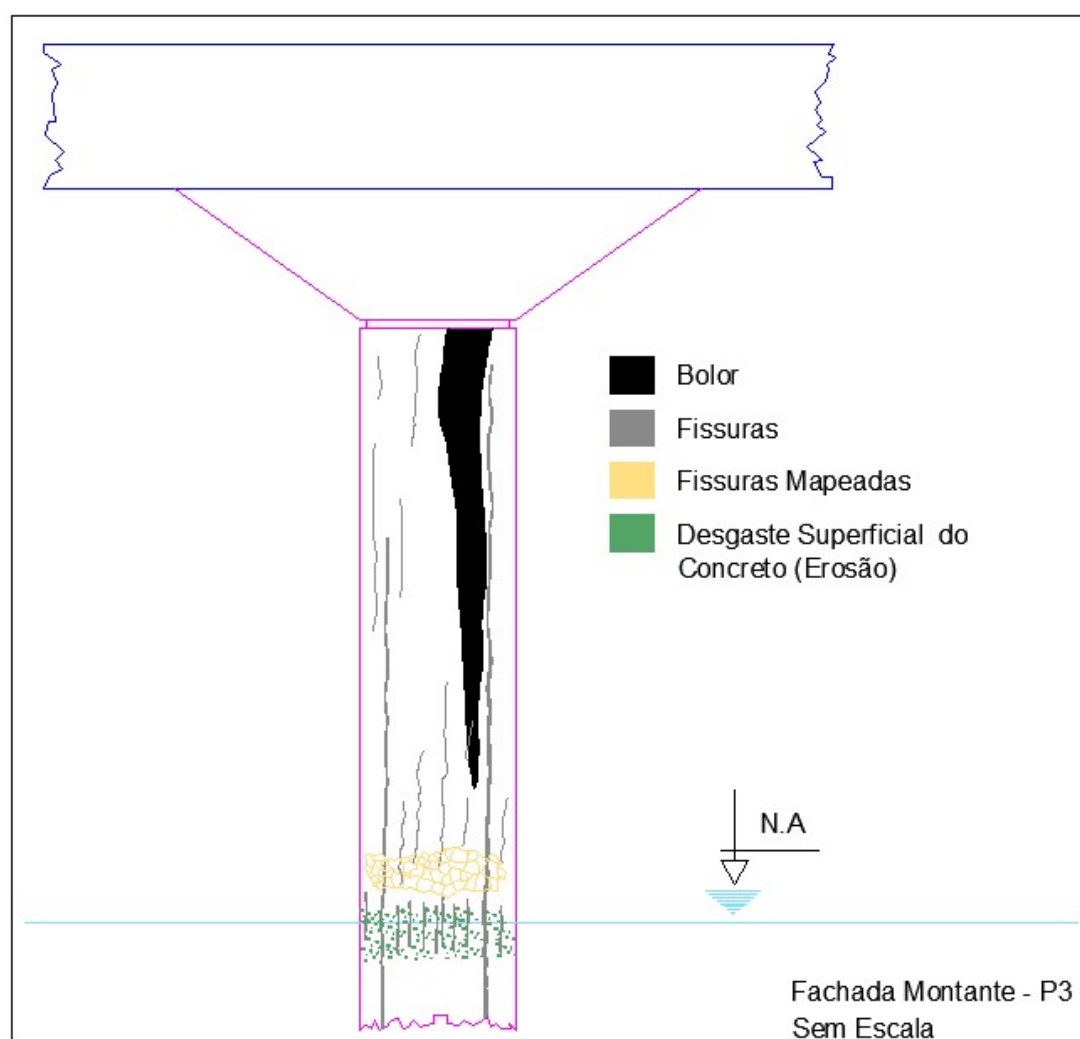
Na fachada montante do pilar P2 as manchas escuras de bolor iniciam se próximas ao aparelho de apoio descendo pela lateral e centro do pilar chegando até o meio da peça no sentido vertical.

Há um desgaste superficial do concreto (erosão), estando a aproximadamente até uma altura de setenta centímetros acima do nível da água, tendo maior proporção abaixo desta.

As fissuras mapeadas se localizam próxima ao nível da água. Há a existência de fissuras geométricas por toda a extensão da peça, desde a parte submersa, onde estas são maiores, até o final da estrutura.

Existem armaduras expostas e com presença de corrosão, próxima ao nível da água. Nota-se que o cobrimento de concreto não foi obedecido, sendo insuficiente de acordo com a NBR 6118/2014. Pode averiguar que o cobrimento não passa de 5 mm. Este fator expõe as armaduras a agentes agressivos que reagem e ocasionam a corrosão, prejudicando a funcionabilidade da estrutura da OAE.

Figura 18 - Mapeamento das manifestações patológicas do pilar P3



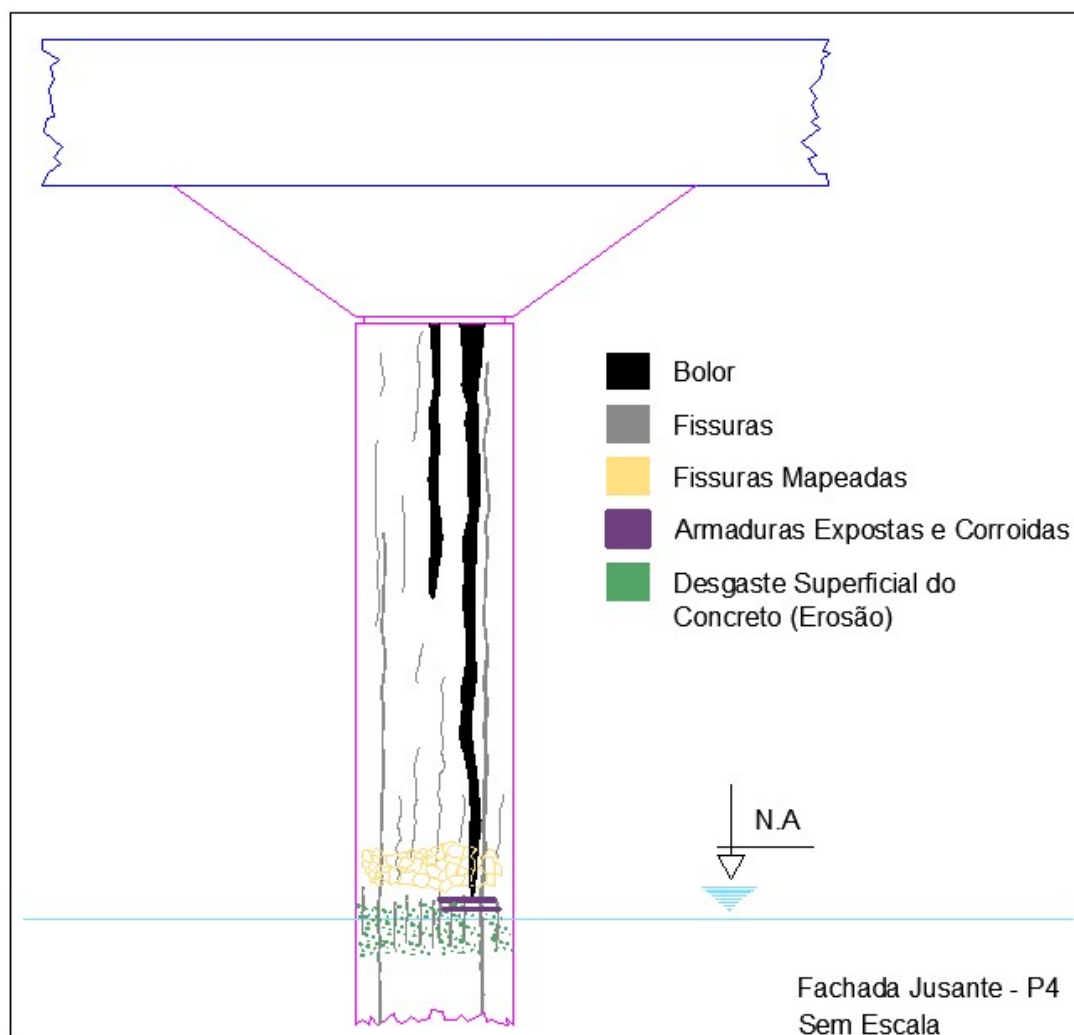
Fonte: Próprio Autor (2020)

Na fachada montante do pilar P3 as manchas escuras de bolor iniciam se próximas ao aparelho de apoio descendo pelo centro do pilar chegando até bem próximo ao nível da água.

Há um desgaste superficial do concreto (erosão), estando a aproximadamente até uma altura de setenta centímetros acima do nível da água, tendo maior proporção abaixo desta.

Há a existência de fissuras por toda a extensão do elemento estrutural, desde a parte submersa, onde estas são maiores até o final da estrutura. As fissuras mapeadas se localizam próximas ao nível da água.

Figura 19 - Mapeamento das manifestações patológicas do pilar P4



Fonte: Próprio Autor (2020)

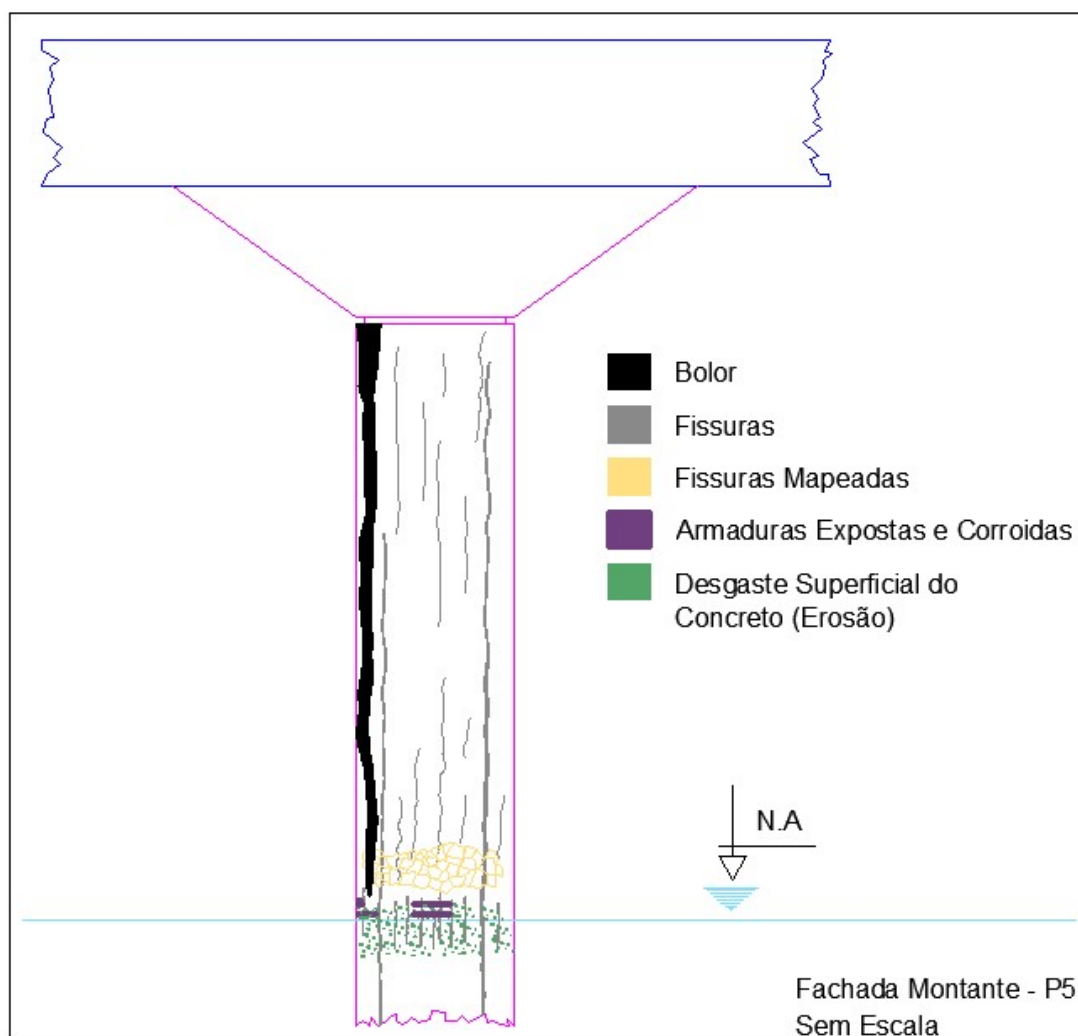
Na fachada jusante do pilar P4 as manchas escuras de bolor iniciam se próximas ao aparelho de apoio descendo pela extensão do pilar chegando até bem próximo ao nível da água.

Há um desgaste superficial do concreto (erosão), estando a aproximadamente até uma altura de setenta centímetros acima do nível da água, tendo maior proporção abaixo desta.

As fissuras mapeadas se localizam próxima ao nível da água. Há a existência de fissuras geométricas por toda a extensão da peça, desde a parte submersa, onde estas são maiores, até o final da estrutura.

Existem armaduras expostas e com presença de corrosão do lado direito, próxima ao nível da água. Nota-se que o cobrimento de concreto não foi obedecido, sendo insuficiente de acordo com a NBR 6118/2014. Há uma provável perda de seção de aço.

Figura 20 - Mapeamento das manifestações patológicas do pilar P5



Fonte: Próprio Autor (2020)

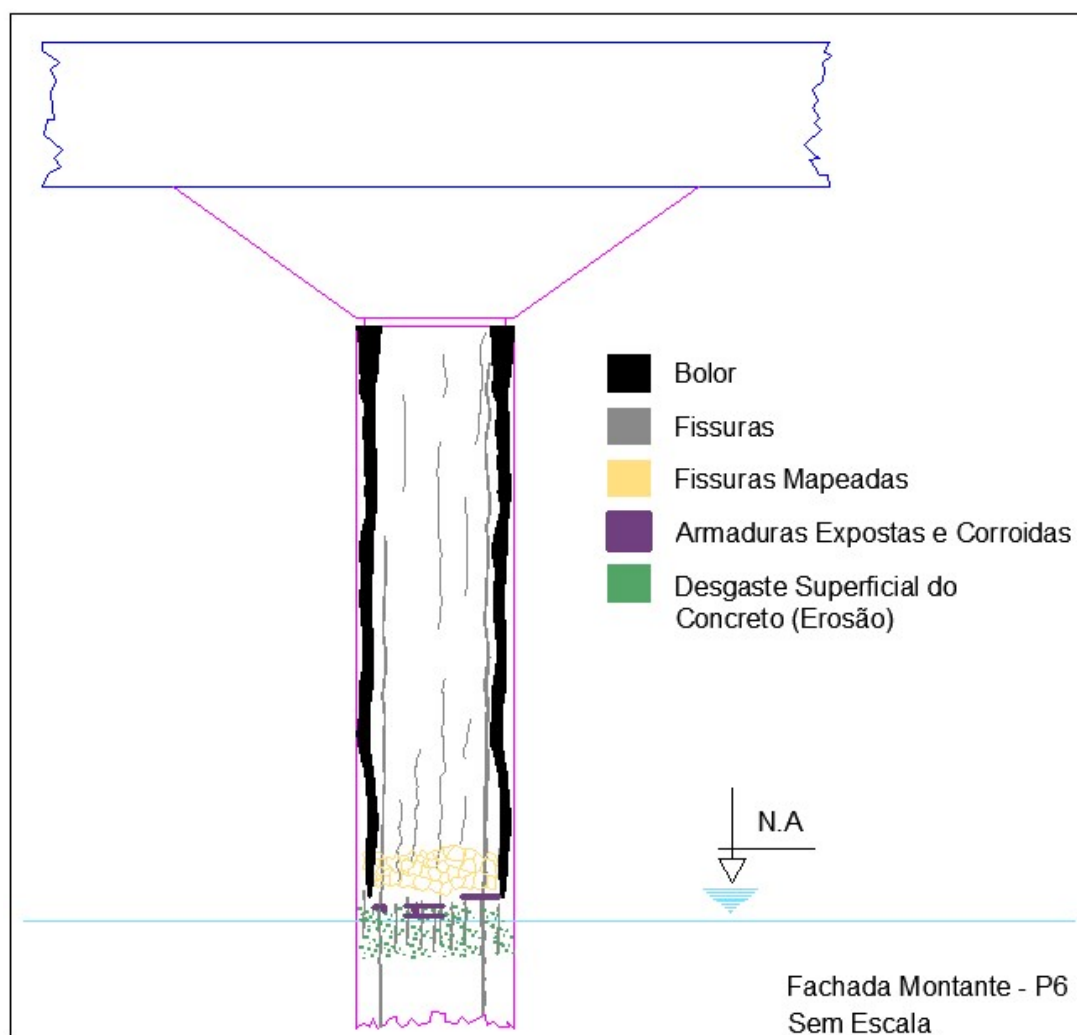
Na fachada montante do pilar P5 as manchas escuras de bolor iniciam se próximas ao aparelho de apoio descendo pela lateral esquerda do pilar chegando até bem próximo ao nível da água.

Há um desgaste superficial do concreto (erosão), estando a aproximadamente até uma altura de setenta centímetros acima do nível da água, tendo maior proporção abaixo desta.

As fissuras mapeadas se localizam próxima ao nível da água. Há a existência de fissuras geométricas por toda a extensão da peça, desde a parte submersa, onde estas são maiores, até o final da estrutura.

Existem armaduras expostas e com presença de corrosão no centro e do lado esquerdo do pilar, próxima ao nível da água. Nota-se que o cobrimento de concreto não foi obedecido, sendo insuficiente. Há uma provável perda de seção de aço.

Figura 21 - Mapeamento das manifestações patológicas do pilar P6



Fonte: Próprio Autor (2020)

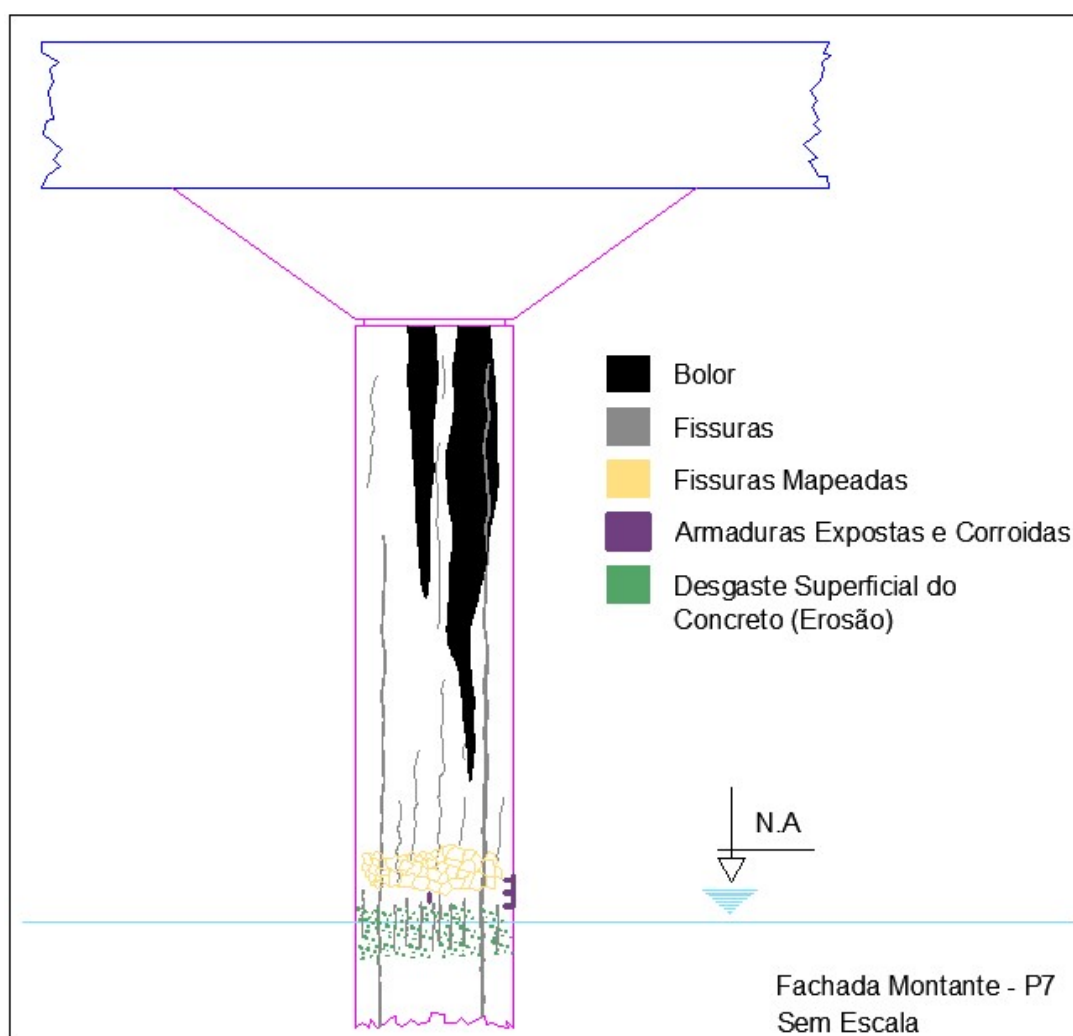
Na fachada montante do pilar P6 as manchas escuras de bolor iniciam se próximas ao aparelho de apoio descendo pelas laterais do pilar chegando até bem próximo ao nível da água.

Há um desgaste superficial do concreto (erosão), estando a aproximadamente até uma altura de setenta centímetros acima do nível da água, tendo maior proporção abaixo desta.

As fissuras mapeadas se localizam próxima ao nível da água. Há a existência de fissuras por toda a extensão da peça, desde a parte submersa, onde estas são maiores, até o final da estrutura.

Existem armaduras expostas e com presença de corrosão por toda seção transversal do elemento estrutural, próxima ao nível da água. Nota-se que o cobrimento de concreto não foi obedecido. Há uma provável perda de seção de aço.

Figura 22 - Mapeamento das manifestações patológicas do pilar P7



Fonte: Próprio Autor (2020)

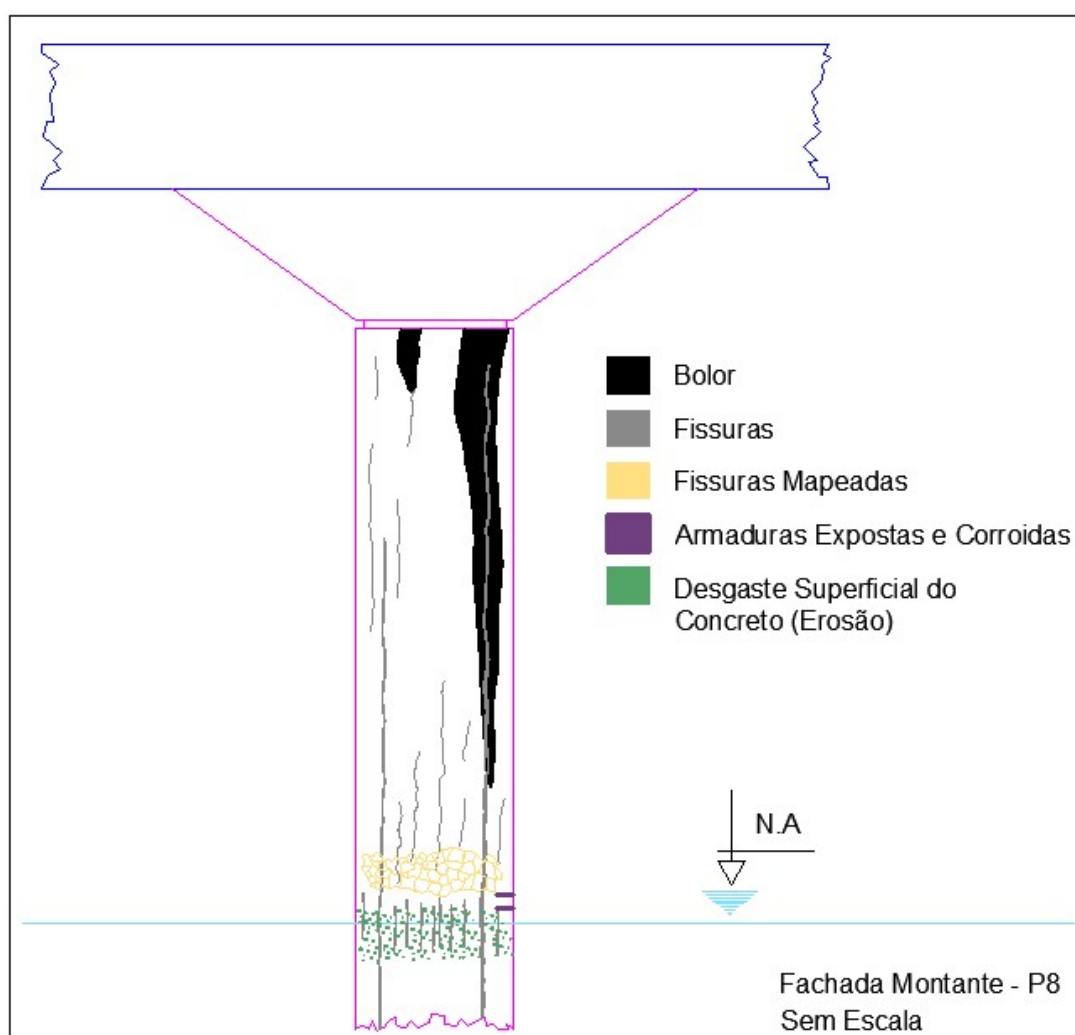
Na fachada montante do pilar P7 as manchas escuras de bolor iniciam se próximas ao aparelho de apoio descendo pelo centro do pilar chegando até um pouco abaixo do meio da peça.

Há um desgaste superficial do concreto (erosão), estando a aproximadamente até uma altura de setenta centímetros acima do nível da água, tendo maior proporção abaixo desta.

As fissuras mapeadas se localizam próxima ao nível da água. Há a existência de fissuras por toda a extensão da peça, desde a parte submersa, onde estas são maiores, ate o final da estrutura.

Existem armaduras expostas e com presença de corrosão no lado direito da peça, próximas ao nível da água. Nota-se que o cobrimento de concreto não foi obedecido. Há uma provável perda de seção de aço.

Figura 23 - Mapeamento das manifestações patológicas do pilar P8



Fonte: Próprio Autor (2020)

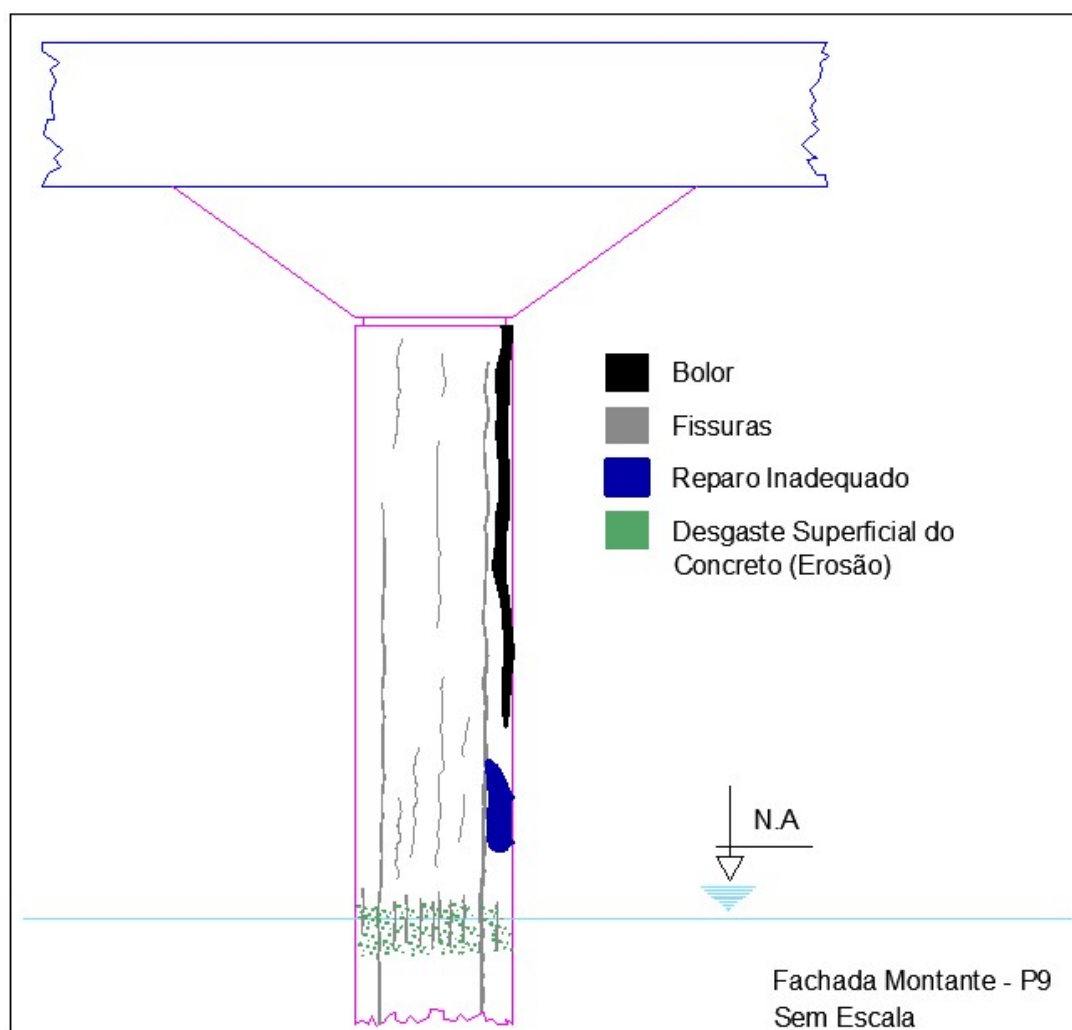
Na fachada montante do pilar P8 as manchas escuras de bolor iniciam se próximas ao aparelho de apoio descendo pela lateral direita e centro do pilar chegando até um pouco abaixo do meio da peça.

Há um desgaste superficial do concreto (erosão), estando a aproximadamente até uma altura de setenta centímetros acima do nível da água, tendo maior proporção abaixo desta.

As fissuras mapeadas se localizam próxima ao nível da água. Há a existência de fissuras geométricas por toda a extensão da peça, desde a parte submersa, onde estas são maiores, ate o final da estrutura.

Existem armaduras expostas e com presença de corrosão no lado direito, próxima ao nível da água. Nota-se que o cobrimento de concreto não foi obedecido, sendo insuficiente. Há uma provável perda de seção de aço.

Figura 24 - Mapeamento das manifestações patológicas do pilar P9



Na fachada montante do pilar P9 as manchas escuras de bolor iniciam se próximas ao aparelho de apoio descendo pela lateral direita do pilar chegando até um pouco abaixo do meio desta peça.

Há um desgaste superficial do concreto (erosão), estando a aproximadamente até uma altura de setenta centímetros acima do nível da água, tendo maior proporção abaixo desta.

Há a existência de fissuras geométricas por toda a extensão das peças, desde a parte submersa, onde estas são maiores, ate o final da estrutura.

Existem reparos inadequados realizados na estrutura. Em local de provável impacto de embarcações foi executado o preenchimento com argamassa, material este não recomendado para a situação encontrada.

Não foram praticados os procedimentos corretos de manutenção, como efetuar o corte em forma de figura geométrica na seção de reparo, criando uma condição adequada para o recebimento da nova camada protetora de concreto, material este correto a ser aplicado.

4.2.3 Catalogação das Manifestações patológicas

4.2.3.1 Pilar P1

No pilar P1 há presença de bolor, desgaste superficial do concreto (erosão) e fissuras geométricas conforme tabela 16.

Tabela 16 – Manifestações patológicas do pilar P1


	Manifestação detectada	Caracterização física	Mecanismo	Possíveis causas	Possíveis soluções
	Bolor na parte superior do pilar, descendo pelo lado direito até bem próximo ao nível da água.	Aparecimento de manchas escuras.	Biológico (fungos, insetos, etc.)	Proliferação de fungos com a umidade	Quando não avançada uma boa lavagem c/ hipocloreto (água sanitária) resolve, em casos mais avançados terá que trocar o revestimento quando pulverulento.

Tabela 16 (continuação)

	Manifestação detectada	Caracterização física	Mecanismo	Possíveis causas	Possíveis soluções
	Desgaste superficial do concreto (erosão) até aproximadamente e 70 cm acima do nível da água, estando mais degradado abaixo deste.	Perda de concreto e aparição do agregado graúdo.	Físico (efeito da movimentação das águas)	Provocado pelo fluxo das águas com partículas solidas finas em suspensão	Realizar limpeza com escovas abrasivas e aplicar concreto com maior resistência ao desgaste por erosão
	Manifestação detectada	Caracterização física	Mecanismo	Possíveis causas	Possíveis soluções
	Fissuras geométricas ao longo de todo o pilar, estando mais deteriorado próximo e abaixo do nível da água.	Abertura entre 5 a 7 mm, com evolução ao longo do tempo ativa.	1 - Químico (reação do álcali com sílicas e carbonatos) e 2 - Mecânico (Esforços)	1 - Ocorrência de reação álcali-agregado. 2 - Carregamento excessivo ao longo do tempo.	Substituição de agregados reativos por não reativos quando possível. Uso de materiais pozolânicos.

Fonte: Próprio Autor (2020)

4.2.3.2 Pilar P2

No pilar P2 apresenta bolor, desgaste superficial do concreto (erosão), fissuras geométricas, fissuras mapeadas, armaduras expostas e corrosão das armaduras conforme tabela 17.

Tabela 17 – Manifestações patológicas do pilar P2



	Manifestação detectada	Caracterização física	Mecanismo	Possíveis causas	Possíveis soluções
	<p>Bolor na parte superior do pilar, descendo pelo lado esquerdo até bem próximo ao nível da água.</p>	<p>Aparecimento de manchas escuras.</p>	<p>Biológico (fungos, insetos, etc.)</p>	<p>Proliferação de fungos com a umidade</p>	<p>Quando não avançada uma boa lavagem c/ hipocloreto (água sanitária) resolve, em casos mais avançados terá que trocar o revestimento quando pulverulento.</p>
	Manifestação detectada	Caracterização física	Mecanismo	Possíveis causas	Possíveis soluções
	<p>Desgaste superficial do concreto (erosão) até aproximadamente 70 cm acima do nível da água, estando mais degradado abaixo deste.</p>	<p>Perda de concreto e aparição do agregado graúdo.</p>	<p>Físico (efeito da movimentação das águas)</p>	<p>Provocado pelo fluxo das águas com partículas solidas finas em suspensão</p>	<p>Realizar limpeza com escovas abrasivas e aplicar concreto com maior resistência ao desgaste por erosão</p>

Tabela 17 (continuação)





	Manifestação detectada	Caracterização física	Mecanismo	Possíveis causas	Possíveis soluções
	Armaduras expostas próximas ao nível da água.	Surgimento de corrosão e perda de seção do elemento exposto.	Químico (oxidação, carbonatação, etc.)	Cobrimento do concreto insuficiente.	Efetuar uma rigorosa limpeza da área a ser perada. Se a armadura estiver comprometida (10% da seção), colocar armadura adicional. Utilizar pintura protetora
	Manifestação detectada	Caracterização física	Mecanismo	Possíveis causas	Possíveis soluções
	Corrosão das armaduras expostas	Perda da seção de aço.	Químico (oxidação, carbonatação, etc.)	Cobrimento do concreto insuficiente, permitindo a ação de agentes agressivos	Efetuar uma rigorosa limpeza da área a ser perada. Se a armadura estiver comprometida (10% da seção), colocar armadura adicional. Utilizar pintura protetora

Tabela 17 (continuação)

	Manifestação detectada	Caracterização física	Mecanismo	Possíveis causas	Possíveis soluções
	<p>Fissuras geométricas ao longo de todo o pilar, estando mais deteriorado próximo e abaixo do nível da água.</p>	<p>Abertura entre 6 a 10 mm, com evolução ao longo do tempo ativa.</p>	<p>1 - Químico (reação do álcali com sílicas e carbonatos) e 2 - Mecânico (Esforços)</p>	<p>1 - Ocorrência de reação álcali-agregado. 2 - Carregamento excessivo ao longo do tempo.</p>	<p>Substituição de agregados reativos por não reativos quando possível. Uso de materiais pozolânicos.</p>
	Manifestação detectada	Caracterização física	Mecanismo	Possíveis causas	Possíveis soluções
	<p>Fissuras mapeadas próximas ao nível da água</p>	<p>Aspecto de mapa</p>	<p>Químico (reação do álcali com sílicas e carbonatos)</p>	<p>Ocorrência de reação álcali-agregado.</p>	<p>Substituição de agregados reativos por não reativos quando possível. Uso de materiais pozolânicos.</p>

Fonte: Próprio Autor (2020)

4.2.3.3 Pilar P3

No pilar P3 apresenta bolor, desgaste superficial do concreto (erosão), fissuras geométricas e fissuras mapeadas conforme tabela 18.

Tabela 18 – Manifestações patológicas do pilar P3





	Manifestação detectada	Caracterização física	Mecanismo	Possíveis causas	Possíveis soluções
	Manifestação detectada Desgaste superficial do concreto (erosão) até aproximadamente 70 cm acima do nível da água, estando mais degradado abaixo deste.	Caracterização física Perda de concreto e aparição do agregado graúdo.	Mecanismo Física (efeito da movimentação das águas)	Possíveis causas Provocado pelo fluxo das águas com partículas sólidas finas em suspensão	Possíveis soluções Realizar limpeza com escovas abrasivas e aplicar concreto com maior resistência ao desgaste por erosão

Tabela 18 (continuação)

	Manifestação detectada	Caracterização física	Mecanismo	Possíveis causas	Possíveis soluções
	Fissuras geométricas ao longo de todo o pilar, estando mais deteriorado próximo e abaixo do nível da água.	Abertura entre 4 a 9 mm, com evolução ao longo do tempo ativa.	1 - Químico (reação do álcali com sílicas e carbonatos) e 2 - Mecânico (Esforços)	1 - Ocorrência de reação álcali-agregado. 2 - Carregamento excessivo ao longo do tempo.	Substituição de agregados reativos por não reativos quando possível. Uso de materiais pozolânicos.
	Fissuras mapeadas próximas ao nível da água	Aspecto de mapa	Químico (reação do álcali com sílicas e carbonatos)	Ocorrência de reação álcali-agregado.	Substituição de agregados reativos por não reativos quando possível. Uso de materiais pozolânicos.

Fonte: Próprio Autor (2020)

4.2.3.4 Pilar P4

No pilar P4 apresenta bolor, desgaste superficial do concreto (erosão), fissuras geométricas, fissuras mapeadas, armaduras expostas e corrosão das armaduras conforme tabela 19.

Tabela 19 – Manifestações patológicas do pilar P4



	<p>Manifestação detectada</p> <p>Bolor na parte superior do pilar, descendo pelo centro até bem próximo ao nível da água.</p>	<p>Caracterização física</p> <p>Aparecimento de manchas escuras.</p>	<p>Mecanismo</p> <p>Biológica (fungos, insetos, etc.)</p>	<p>Possíveis causas</p> <p>Proliferação de fungos com a umidade</p>	<p>Possíveis soluções</p> <p>Quando não avançada uma boa lavagem c/ hipocloreto (água sanitária) resolve, em casos mais avançados terá que trocar o revestimento quando pulverulento.</p>
	<p>Manifestação detectada</p> <p>Desgaste superficial do concreto (erosão) até aproximadamente 70 cm acima do nível da água, estando mais degradado abaixo deste.</p>	<p>Caracterização física</p> <p>Perda de concreto e aparição do agregado graúdo.</p>	<p>Mecanismo</p> <p>Física (efeito da movimentação das águas)</p>	<p>Possíveis causas</p> <p>Provocado pelo fluxo das águas com partículas sólidas finas em suspensão</p>	<p>Possíveis soluções</p> <p>Realizar limpeza com escovas abrasivas e aplicar concreto com maior resistência ao desgaste por erosão</p>

Tabela 19 (continuação)





	Manifestação detectada	Caracterização física	Mecanismo	Possíveis causas	Possíveis soluções
	<p>Armaduras expostas próximas ao nível da água.</p>	<p>Surgimento de corrosão e perda de seção do elemento exposto.</p>	<p>Químico (oxidação, carbonatação, etc.)</p>	<p>1 - Cobrimento do concreto insuficiente. 2 - Possíveis impactos de embarcações, expondo a armadura.</p>	<p>Efetuar uma rigorosa limpeza da área a ser perada. Se a armadura estiver comprometida (10% da seção), colocar armadura adicional. Utilizar pintura protetora</p>
	<p>Corrosão das armaduras expostas</p>	<p>Perda da seção de aço.</p>	<p>Químico (oxidação, carbonatação, etc.)</p>	<p>Cobrimento do concreto insuficiente, permitindo a ação de agentes agressivos</p>	<p>Efetuar uma rigorosa limpeza da área a ser perada. Se a armadura estiver comprometida (10% da seção), colocar armadura adicional. Utilizar pintura protetora</p>

Tabela 19 (continuação)

	Manifestação detectada	Caracterização física	Mecanismo	Possíveis causas	Possíveis soluções
	Fissuras ao longo de todo o pilar, estando mais deteriorado próximo e abaixo do nível da água.	Abertura entre 5 a 10 mm, com evolução ao longo do tempo ativa.	1 - Químico (reação do álcali com sílicas e carbonatos) e 2 - Mecânico (Esforços)	1 - Ocorrência de reação álcali-agregado. 2 - Carregamento excessivo ao longo do tempo.	Substituição de agregados reativos por não reativos quando possível. Uso de materiais pozolânicos.
	Fissuras mapeadas próximas ao nível da água	Aspecto de mapa	Químico (reação do álcali com sílicas e carbonatos)	Ocorrência de reação álcali-agregado.	Substituição de agregados reativos por não reativos quando possível. Uso de materiais pozolânicos.

Fonte: Próprio Autor (2020)

4.2.3.5 Pilar P5

No pilar P5 apresenta bolor, desgaste superficial do concreto (erosão), fissuras geométricas, fissuras mapeadas, armaduras expostas e corrosão das armaduras conforme tabela 20.

Tabela 20 – Manifestações patológicas do pilar P5



	Manifestação detectada	Caracterização física	Mecanismo	Possíveis causas	Possíveis soluções
	<p>Bolor na parte superior do pilar, descendo pelas laterais até bem próximo ao nível da água.</p>	<p>Aparecimento de manchas escuras.</p>	<p>Biológica (fungos, insetos, etc.)</p>	<p>Proliferação de fungos com a umidade</p>	<p>Quando não avançada uma boa lavagem c/ hipocloreto (água sanitária) resolve, em casos mais avançados terá que trocar o revestimento quando pulverulento.</p>
	Manifestação detectada	Caracterização física	Mecanismo	Possíveis causas	Possíveis soluções
	<p>Desgaste superficial do concreto (erosão) até aproximadamente e 70 cm acima do nível da água, estando mais degradado abaixo deste.</p>	<p>Perda de concreto e aparição do agregado graúdo.</p>	<p>Física (efeito da movimentação das águas)</p>	<p>Provocado pelo fluxo das águas com partículas solidas finas em suspensão</p>	<p>Realizar limpeza com escovas abrasivas e aplicar concreto com maior resistência ao desgaste por erosão</p>

Tabela 20 (continuação)





	Manifestação detectada	Caracterização física	Mecanismo	Possíveis causas	Possíveis soluções
	Armaduras expostas próximas ao nível da água.	Surgimento de corrosão e perda de seção do elemento exposto.	Químico (oxidação, carbonatação, etc.)	Cobrimento do concreto insuficiente.	Efetuar uma rigorosa limpeza da área a ser perada. Se a armadura estiver comprometida (10% da seção), colocar armadura adicional. Utilizar pintura protetora.
	Manifestação detectada	Caracterização física	Mecanismo	Possíveis causas	Possíveis soluções
	Corrosão das armaduras expostas	Perda da seção de aço.	Químico (oxidação, carbonatação, etc.)	Cobrimento do concreto insuficiente, permitindo a ação de agentes agressivos	Efetuar uma rigorosa limpeza da área a ser perada. Se a armadura estiver comprometida (10% da seção), colocar armadura adicional. Utilizar pintura protetora.

Tabela 20 (continuação)

	Manifestação detectada	Caracterização física	Mecanismo	Possíveis causas	Possíveis soluções
	Fissuras ao longo de todo o pilar, estando mais deteriorado próximo e abaixo do nível da água.	Abertura entre 9 a 12 mm, com evolução ao longo do tempo ativa.	1 - Químico (reação do álcali com sílicas e carbonatos) e 2 - Mecânico (Esforços)	1 - Ocorrência de reação álcali-agregado. 2 - Carregamento excessivo ao longo do tempo.	Substituição de agregados reativos por não reativos quando possível. Uso de materiais pozolânicos.
	Manifestação detectada	Caracterização física	Mecanismo	Possíveis causas	Possíveis soluções
	Fissuras mapeadas próximas ao nível da água	Aspecto de mapa	Químico (reação do álcali com sílicas e carbonatos)	Ocorrência de reação álcali-agregado.	Substituição de agregados reativos por não reativos quando possível. Uso de materiais pozolânicos.

Fonte: Próprio Autor (2020)

4.2.3.6 Pilar P6

No pilar P6 apresenta bolor, desgaste superficial do concreto (erosão), fissuras geométricas, fissuras mapeadas, armaduras expostas e corrosão das armaduras conforme tabela 21.

Tabela 21 - Manifestações patológicas do pilar P6


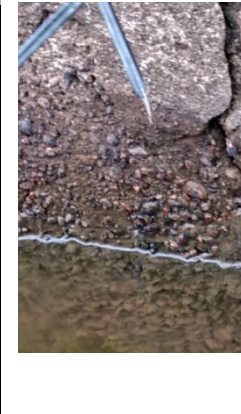
			Manifestação detectada	Caracterização física	Mecanismo	Possíveis causas	Possíveis soluções
			Bolor na parte superior do pilar, descendo pelas laterais até bem próximo ao nível da água.	Aparecimento de manchas escuras.	Biológica (fungos, insetos, etc.)	Proliferação de fungos com a umidade	Quando não avançada uma boa lavagem c/ hipocloreto (água sanitária) resolve, em casos mais avançados terá que trocar o revestimento quando pulverulento.
			Manifestação detectada	Caracterização física	Mecanismo	Possíveis causas	Possíveis soluções
			Desgaste superficial do concreto (erosão) até aproximadamente e 70 cm acima do nível da água, estando mais degradado abaixo deste.	Perda de concreto e aparição do agregado graúdo.	Física (efeito da movimentação das águas)	Provocado pelo fluxo das águas com partículas solidas finas em suspensão	Realizar limpeza com escovas abrasivas e aplicar concreto com maior resistência ao desgaste por erosão

Tabela 21 (continuação)





	Manifestação detectada	Caracterização física	Mecanismo	Possíveis causas	Possíveis soluções
	<p>Armaduras expostas próximas ao nível da água.</p>	<p>Surgimento de corrosão e perda de seção do elemento exposto.</p>	<p>Químico (oxidação, carbonatação, etc.)</p>	<p>Cobrimento do concreto insuficiente.</p>	<p>Efetuar uma rigorosa limpeza da área a ser perada. Se a armadura estiver comprometida (10% da seção), colocar armadura adicional. Utilizar pintura protetora.</p>
	Manifestação detectada	Caracterização física	Mecanismo	Possíveis causas	Possíveis soluções
	<p>Corrosão das armaduras expostas</p>	<p>Perda da seção de aço.</p>	<p>Químico (oxidação, carbonatação, etc.)</p>	<p>Cobrimento do concreto insuficiente, permitindo a ação de agentes agressivos</p>	<p>Efetuar uma rigorosa limpeza da área a ser perada. Se a armadura estiver comprometida (10% da seção), colocar armadura adicional. Utilizar pintura protetora.</p>

Tabela 21 (continuação)

	Manifestação detectada	Caracterização física	Mecanismo	Possíveis causas	Possíveis soluções
	Fissuras ao longo de todo o pilar, estando mais deteriorado próximo e abaixo do nível da água.	Abertura entre 5 a 18 mm, com evolução ao longo do tempo ativa.	1 - Químico (reação do álcali com sílicas e carbonatos) e 2 - Mecânico (Esforços)	1 - Ocorrência de reação álcali-agregado. 2 - Carregamento excessivo ao longo do tempo.	Substituição de agregados reativos por não reativos quando possível. Uso de materiais pozolânicos.
	Fissuras mapeadas próximas ao nível da água	Aspecto de mapa	Químico (reação do álcali com sílicas e carbonatos)	Ocorrência de reação álcali-agregado.	Substituição de agregados reativos por não reativos quando possível. Uso de materiais pozolânicos.

Fonte: Próprio Autor (2020)

4.2.3.7 Pilar P7

No pilar P7 apresenta bolor, desgaste superficial do concreto, fissuras geométricas, fissuras mapeadas, armaduras expostas e corrosão das armaduras conforme tabela 22.

Tabela 22 - Manifestações patológicas do pilar P7



	Manifestação detectada	Caracterização física	Mecanismo	Possíveis causas	Possíveis soluções
	<p>Bolor na parte superior do pilar, descendo pelas laterais até bem próximo ao nível da água.</p>	<p>Aparecimento de manchas escuras.</p>	<p>Biológica (fungos, insetos, etc.)</p>	<p>Proliferação de fungos com a umidade</p>	<p>Quando não avançada uma boa lavagem c/ hipocloreto (água sanitária) resolve, em casos mais avançados terá que trocar o revestimento quando pulverulento.</p>
	<p>Desgaste superficial do concreto (erosão) até aproximadamente e 70 cm acima do nível da água, estando mais degradado abaixo deste.</p>	<p>Perda de concreto e aparição do agregado graúdo.</p>	<p>Física (efeito da movimentação das águas)</p>	<p>Provocado pelo fluxo das águas com partículas solidas finas em suspensão</p>	<p>Realizar limpeza com escovas abrasivas e aplicar concreto com maior resistência ao desgaste por erosão</p>

Tabela 22 (continuação)





	Manifestação detectada	Caracterização física	Mecanismo	Possíveis causas	Possíveis soluções
	Armaduras expostas próximas ao nível da água.	Surgimento de corrosão e perda de seção do elemento exposto.	Químico (oxidação, carbonatação, etc.)	Cobrimento do concreto insuficiente.	Efetuar uma rigorosa limpeza da área a ser perada. Se a armadura estiver comprometida (10% da seção), colocar armadura adicional. Utilizar pintura protetora.
	Manifestação detectada	Caracterização física	Mecanismo	Possíveis causas	Possíveis soluções
	Corrosão das armaduras expostas	Perda da seção de aço.	Químico (oxidação, carbonatação, etc.)	1 - Cobrimento do concreto insuficiente, permitindo a ação de agentes agressivos. 2 - Possíveis impactos de embarcações, expondo as armaduras.	Efetuar uma rigorosa limpeza da área a ser perada. Se a armadura estiver comprometida (10% da seção), colocar armadura adicional. Utilizar pintura protetora.

Tabela 22 (continuação)

	Manifestação detectada	Caracterização física	Mecanismo	Possíveis causas	Possíveis soluções
	<p>Fissuras ao longo de todo o pilar, estando mais deteriorado próximo e abaixo do nível da água.</p>	<p>Abertura entre 5 a 8 mm, com evolução ao longo do tempo ativa.</p>	<p>Químico (reação do álcali com sílicas e carbonatos) e Mecânico (Esforços)</p>	<p>1 - Ocorrência de reação álcali-agregado. 2 - Carregamento excessivo ao longo do tempo.</p>	<p>Substituição de agregados reativos por não reativos quando possível. Uso de materiais pozolânicos.</p>
	<p>Fissuras ao longo de todo o pilar, estando mais deteriorado próximo e abaixo do nível da água.</p>	<p>Abertura entre 5 a 8 mm, com evolução ao longo do tempo ativa.</p>	<p>1 - Químico (reação do álcali com sílicas e carbonatos) e 2 - Mecânico (Esforços)</p>	<p>1 - Ocorrência de reação álcali-agregado. 2 - Carregamento excessivo ao longo do tempo.</p>	<p>Substituição de agregados reativos por não reativos quando possível. Uso de materiais pozolânicos.</p>

Fonte: Próprio Autor (2020)

4.2.3.8 Pilar P8

No pilar P8 apresenta bolor, desgaste superficial do concreto (erosão), fissuras geométricas, fissuras mapeadas, armaduras expostas e corrosão das armaduras conforme tabela 23.

Tabela 23 - Manifestações patológicas do pilar P8



	Manifestação detectada	Caracterização física	Mecanismo	Possíveis causas	Possíveis soluções
	<p>Bolor na parte superior do pilar, descendo pela lateral direita até bem próximo ao nível da água.</p>	<p>Aparecimento de manchas escuras.</p>	<p>Biológica (fungos, insetos, etc.)</p>	<p>Proliferação de fungos com a umidade</p>	<p>Quando não avançada uma boa lavagem c/ hipocloreto (água sanitária) resolve, em casos mais avançados terá que trocar o revestimento quando pulverulento.</p>
	Manifestação detectada	Caracterização física	Mecanismo	Possíveis causas	Possíveis soluções
	<p>Desgaste superficial do concreto (erosão) até aproximadamente e 70 cm acima do nível da água, estando mais degradado abaixo deste.</p>	<p>Perda de concreto e aparição do agregado graúdo.</p>	<p>Física (efeito da movimentação das águas)</p>	<p>Provocado pelo fluxo das águas com partículas solidas finas em suspensão</p>	<p>Realizar limpeza com escovas abrasivas e aplicar concreto com maior resistência ao desgaste por erosão</p>

Tabela 23 (continuação)



	Manifestação detectada	Caracterização física	Mecanismo	Possíveis causas	Possíveis soluções
	<p>Armaduras expostas e com presença de corrosão próxima ao nível da água.</p>	<p>Perda da seção de aço.</p>	<p>Químico (oxidação, carbonatação, etc.)</p>	<p>Cobrimento do concreto insuficiente, permitindo a ação de agentes agressivos.</p>	<p>Efetuar uma rigorosa limpeza da área a ser perada. Se a armadura estiver comprometida (10% da seção), colocar armadura adicional. Utilizar pintura protetora.</p>
	Manifestação detectada	Caracterização física	Mecanismo	Possíveis causas	Possíveis soluções
	<p>Fissuras ao longo de todo o pilar, estando mais deteriorado próximo e abaixo do nível da água.</p>	<p>Abertura entre 5 a 12 mm, com evolução ao longo do tempo ativa.</p>	<p>1 - Químico (reação do álcali com sílicas e carbonatos) e 2 - Mecânico (Esforços)</p>	<p>1 - Ocorrência de reação álcali-agregado. 2 - Carregamento excessivo ao longo do tempo.</p>	<p>Substituição de agregados reativos por não reativos quando possível. Uso de materiais pozolânicos.</p>

Tabela 23 (continuação)

	Manifestação detectada	Caracterização física	Mecanismo	Possíveis causas	Possíveis soluções
	Fissuras mapeadas próximas ao nível da água	Aspecto de mapa	Químico (reação do álcali com sílicas e carbonatos)	Ocorrência de reação álcali-agregado.	Substituição de agregados reativos por não reativos quando possível. Uso de materiais pozolânicos.

Fonte: Próprio Autor (2020)

4.2.3.9 Pilar P9

No pilar P9 apresenta bolor, desgaste superficial do concreto (erosão), fissuras geométricas e reparo inadequado conforme tabela 24.

Tabela 24 - Manifestações patológicas do pilar P9



	Manifestação detectada	Caracterização física	Mecanismo	Possíveis causas	Possíveis soluções
	<p>Bolor na parte superior do pilar, descendo pela lateral direita até bem próximo ao nível da água.</p>	<p>Aparecimento de manchas escuras.</p>	<p>Biológica (fungos, insetos, etc.)</p>	<p>Proliferação de fungos com a umidade</p>	<p>Quando não avançada uma boa lavagem c/ hipocloreto (água sanitária) resolve, em casos mais avançados terá que trocar o revestimento quando pulverulento.</p>
	Manifestação detectada	Caracterização física	Mecanismo	Possíveis causas	Possíveis soluções
	<p>Desgaste superficial do concreto (erosão) até aproximadamente e 70 cm acima do nível da água, estando mais degradado abaixo deste.</p>	<p>Perda de concreto e aparição do agregado graúdo.</p>	<p>Física (efeito da movimentação das águas)</p>	<p>Provocado pelo fluxo das águas com partículas solidas finas em suspensão</p>	<p>Realizar limpeza com escovas abrasivas e aplicar concreto com maior resistência ao desgaste por erosão</p>

Tabela 24 (continuação)



	Manifestação detectada	Caracterização física	Mecanismo	Possíveis causas	Possíveis soluções
	<p>Fissuras ao longo de todo o pilar, estando mais deteriorado próximo e abaixo do nível da água.</p>	<p>Abertura entre 5 a 10 mm, com evolução ao longo do tempo ativa.</p>	<p>1 - Químico (reação do álcali com sílicas e carbonatos) e 2 - Mecânico (Esforços)</p>	<p>1 - Ocorrência de reação álcali-agregado. 2 - Carregamento excessivo ao longo do tempo.</p>	<p>Substituição de agregados reativos por não reativos quando possível. Uso de materiais pozolânicos.</p>
	<p>Fissuras ao longo de todo o pilar, estando mais deteriorado próximo e abaixo do nível da água.</p>	<p>Abertura entre 5 a 10 mm, com evolução ao longo do tempo ativa.</p>	<p>1 - Químico (reação do álcali com sílicas e carbonatos) e 2 - Mecânico (Esforços)</p>	<p>1 - Ocorrência de reação álcali-agregado. 2 - Carregamento excessivo ao longo do tempo.</p>	<p>Substituição de agregados reativos por não reativos quando possível. Uso de materiais pozolânicos.</p>

Tabela 24 (continuação)

	Manifestação detectada	Caracterização física	Mecanismo	Possíveis causas	Possíveis soluções
	Reparo inadequado na fachada Porto Nacional	Corte irregular da seção reparada	Físico	Utilização de material inadequado para reparação estrutural	Realizar corte em forma de figura geométrica; realizar limpeza com material abrasivo e aplicar concreto estrutural.

Fonte: Próprio Autor (2020)

4.2.4 Classificação da OAE

Os pilares da Ponte de Porto Nacional foram classificados conforme a NBR 9452/2016, segundo os parâmetros estrutural, funcional e de durabilidade com situação crítica conforme a tabela 25 e apêndice A.

Tabela 25 – Classificação da OAE

Elemento	Nota de classificação	Condição
Pilar P1	3	Regular
Pilar P2	1	Crítica
Pilar P3	1	Crítica
Pilar P4	1	Crítica
Pilar P5	1	Crítica
Pilar P6	1	Crítica
Pilar P7	1	Crítica
Pilar P8	1	Crítica
Pilar P9	1	Crítica

Fonte: Próprio Autor (2020)

O pilar P1 foi o único a receber nota 3 (Regular), pois este apresenta danos que podem gerar problemas estruturais, necessitando de acompanhamento da evolução destas manifestações patológicas existentes, suas fissuras apresentam wk maiores do que o normatizado pela NBR 6118/2014, estando em menor quantidade em comparação aos demais pilares.

Os pilares P2 a P9 obteve nota 1 (Crítica), pois apresenta alto grau de deterioração, danos que levam a insuficiência estrutural, com risco de colapso, com necessidade de intervenção imediata, situação que já foi acatada pelo governo através da restrição de veículos com cargas acima 3,5 toneladas e altura superior a 2,20 m com uma velocidade máxima de 60 km/h.

As fissuras existentes nestes pilares ostentam wk maiores do que o normatizado e em constante progressão devido à reação álcali-agregado, deixando as armaduras expostas a agentes agressivos, provocando corrosão e por consequência redução da área de aço, o que reduz a vida útil da OAE.

Alguns destes pilares ainda sofrem com danos causados por impacto de embarcações, que geram a quebra do concreto e pode gerar maiores danos a estrutura, podendo estes agravar a situação da ponte.

Todas as manifestações patológicas encontradas nesses elementos reunidas agindo simultaneamente sobre a estrutura aumentam o grau de deterioração que evolui constantemente, deixando a situação da ponte cada vez mais preocupante.

CONCLUSÃO

Pode-se verificar que a Ponte de Porto Nacional apresenta um processo de deterioração com constante evolução. Passou por grandes períodos sem manutenção, tendo as características de seu trem tipo alterado de TB 36 para TB 45, fato este que não foi determinante para a perda de sua vida útil, pois o maior acréscimo de carregamento chegou a apenas a 7% estando ele no pilar P1.

Nota-se que o cobrimento de concreto para passivação das armaduras não foram obedecidas. Nos pilares P5 e P6 em alguns pontos nem há mesmo a existência desta cobertura, estando apenas o pilar P7 dentro da norma. Esta situação acarretou o desenvolvimento da corrosão das armaduras, chegando a um estado avançado, provocando a redução da seção de aço.

Destaca-se que desde 2003 foi comprovada a existência da reação álcali-agregado, situação que se tornou generalizada na estrutura. Esta reação química é condição determinante para o processo progressivo de deterioração que a ponte vem sofrendo.

Observou-se que o concreto se encontra com aspecto degradado decorrente esta circunstância. Todos os pilares apresentam grandes números de fissuras, trincas, rachaduras e fendas, chegando no pior dos casos dentro do último ano a um aumento, no pilar P6, de 157%.

Esta discrepância de valores medidos pode ter ocorrido devido à verificação de faces diferentes de um mesmo pilar, pois nas inspeções realizadas em 2016 e 2019 não cita se todas as faces foram medidas, já a vistoria realizada em 2020, apenas uma das faces foi realizada as medições devido à dificuldade de estabilização do barco na aproximação. Podendo desta forma, em 2016 e 2019 a face medida não ter sido a mesma, não sendo elas a de situação mais crítica.

Foi encontrada em todos os pilares sem exceção a presença de bolor, desgaste superficial do concreto (erosão), fissuras, trincas, rachaduras e fendas. O pilar P2 e do pilar P4 ao P8 apresentam armaduras expostas com presença de corrosão e possível redução de seção de aço. O pilar P9 apresenta reparo que foi executado com material e técnica inadequada para a situação da manifestação patológica.

De acordo com os parâmetros estruturais, funcionais e de durabilidade estabelecido pela NBR 9452/2016, os pilares da Ponte de Porto Nacional foram classificados com situação crítica, com alto grau de deterioração, gerando risco de colapso estrutural, portanto as restrições estabelecidas são validas e de estrema importância para a segurança do usuário.

Ressaltamos que devido a todo o histórico e manifestações patológicas existente na OEA sua durabilidade e vida útil foram reduzidas, estando comprometida.

RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Recomenda-se uma análise e avaliação das quatro faces dos pilares, verificando não somente a pior situação do pilar. Apresentando maiores detalhes, como medir os diâmetros das armaduras exposta, identificando de fato qual a redução da seção de aço devido ao processo de corrosão.

Seria de grande importância a realização de uma inspeção subaquática, pois foi notória que as manifestações patológicas são maiores e mais graves abaixo do nível da água. A investigação desta anomalia na parte submersa dos pilares poderia identificar a real gravidade vivida pelos pilares da Ponte de Porto Nacional.

REFERÊNCIAS

- _____. **ABNT NB-6:1960**: Cargas Móveis em Pontes Rodoviária, 1960.
- _____. **ABNT NBR 6118**: Projeto de Estruturas de Concreto–Procedimento. Rio de Janeiro, 2014.
- _____. **ABNT NBR 7188**: Cargas Móveis em Pontes Rodoviária e Passarela de Pedestre, 1984.
- _____. **ABNT NBR 9452**: Inspeção de Pontes, Viadutos e Passarelas de Concreto–Procedimento. Rio de Janeiro, 2016.
- ANDRADE, Carmen. **Manual para Diagnóstico de Obras Deterioradas por Corrosão de Armaduras**. São Paulo: Pini, 1992.
- ARAUJO, Ciro José Ribeiro Villela. Vistoriando Obras de Artes Especiais. **Revista Notícias da Construção**. Outubro de 2014. Acesso em: 23 de julho de 2019.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES, DNIT. Manual de Recuperação de Pontes e Viadutos Rodoviários, Rio de Janeiro, 2010.
- DNIT. **ISF-216: Projeto de Obras de Arte Especiais**. 2015.
- DESCASO conheça a verdade sobre a situação da Ponte de Porto Nacional. Revitalizar ou implodir? Cerrado Rural A Revista do MATOPIBA (online), Tocantins 12 de fevereiro de 2019. Disponível em: <http://cerradoeditora.com.br/cerrado/descaso-conheca-a-verdade-sobre-a-situacao-da-ponte-de-porto-nacional-revitalizar-ou-implodir/>. Acesso em: 25 de julho de 2019.
- DIAGNÓSTICO ESTRUTURAL DA PONTE SOBRE O RIO TOCANTINS – TRECHO PORTO NACIONAL DA TO-050**–Relatório Técnico LSE-R010903, São Paulo, setembro 2003.
- DIAGNÓSTICO PARA RECUPERAÇÃO ESTRUTURAL DA PONTE SOBRE O RIO TOCANTINS EM PORTO NACIONAL-TO**–Relatório Final, contrato LSE/DERTINS, Nº 196/2010, Fevereiro de 2011.
- FERANDES, Antônio Vitor Barbosa; CORREIA, Vinicius Costa. **Uma Introdução ao Estudo das Pontes em Viga**. Aracaju. v4. n.1. ISSN impresso 1980-1777, ISSN eletrônico 2316-3135 março, 2017.
- FREIRE, Valéria Parente. Manifestações Patológicas Presentes em Residências Habitacionais do Município de Nova Jaguaribara - CE. 2019. 24 f. Monografia apresentada Universidade Federal Rural do Semiárido para obtenção do grau de bacharel em Ciência e Tecnologia.

FUSCO, Péricles Brasilense. **Tecnologia do Concreto Estrutural: Tópicos Aplicados**. São Paulo: Pini, 2008.

GRANATO, José Eduardo. **Patologia das Construções**. 2002.

HELENE, Paulo R. L. Introdução da Durabilidade no Projeto das Estruturas de Concreto. *Ambient. Constr.*, São Paulo, v. 1, n2, ISSN 1415-8876, jul/dez, 1997.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO). General Principles on the Design of Structures for Durability. **ISO 13823**. Geneva: ISO/TC, 2008.

INSPEÇÃO VISUAL REALIZADA NA PONTE SOBRE O RIO TOCANTINS EM PORTO NACIONAL-TO, 2015.

INSPEÇÃO VISUAL DA ESTRUTURA DA PONTE SOBRE O RIO TOCANTINS, localizada na TO-255, visando elaboração de um relatório consolidado sobre a estrutura da ponte e estudo de alternativas para reabilitar a estrutura para utilização—Porto Nacional TO. São Paulo, 5 de Fevereiro de 2016.

INSPEÇÃO VISUAL DA ESTRUTURA DA PONTE SOBRE RIO TOCANTINS, PORTO NACIONAL – TO—Relatório Final. LSE-BRD-2016-04-20170315/RF-AE-01, São Paulo, 15 de Março de 2017.

LIDERANÇAS APROVAM iniciativa do governador Marcelo Miranda de construir uma nova ponte em Porto Nacional. *Jornal O Paralelo 13^a* (online), Tocantins, 23 de dezembro de 2015. Disponível em: <https://www.oparalelo13.com.br/tag/item/1954-lideran%C3%A7as-aprovam-iniciativa-do-governador-marcelo-miranda-de-construir-uma-nova-ponte-em-porto-nacional>. Acesso em 12 de julho de 2019.

MARCHETTI, Osvaldemar. **Pontes de Concreto Armado**. São Paulo: Editora Blucher, 2008.

MARCHETTI, Osvaldemar. **Pontes de Concreto Armado**. 2^a edição, São Paulo: Editora Blucher, 2018.

MENDES, Luiz Carlos. **Pontes**. Niterói: EdUFF, 2003.

MIZUMOTO, Camilo. Investigação da reação álcali-agregado (RAA) em testemunhos de concreto e agregados constituintes. 2009. 162 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil)—Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho” Campus de Ilha Solteira, São Paulo, 2009.

OLIVEIRA, m.c.b; ALMEIDA, P.A.O; RODRIGUES, J.F.S; ZUQUIM, MPS; LOCATI, F. IDENTIFICAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE REAÇÃO ÁLCALI-AGREGADO EM PONTE DE CONCRETO. **Anais do VI Simpósio EPUSP Sobre Estruturas de concreto**. São Paulo, p. 1386-1400, 2006

PINHO, Fernando Ottoboni; BELLEI, Ildony Hélio. **Pontes e Viadutos em Vigas Mistas**. Rio de Janeiro: IBS/CBCA, 2007.

PONTE DE PORTO Nacional é liberada para de veículos leves. Portal Tocantins (online), Tocantins, 17 de junho de 2019. Disponível em: <https://portal.to.gov.br/noticia/2019/6/17/ponte-de-porto-nacional-e-liberada-para-trafego-de-veiculos-leves/>. Acesso em 16 de julho de 2019.

PONTE DE PORTO Nacional será completamente interditada a partir desta quinta-feira (7). G1 Tocantins (online), Tocantins, 06 de fevereiro de 2019. Disponível em: <https://g1.globo.com/to/tocantins/noticia/2019/02/06/ponte-de-porto-nacional-sera-completamente-interditada-a-partir-desta-quinta-feira-7.ghtml>. Acesso em 16 de julho de 2019.

PONTES DO RECIFE serão recuperadas em 2019. Diário de Pernambuco. Pernambuco, 08 de dezembro de 2018. Disponível em: <https://www.diariodepernambuco.com.br/noticia/vidaurbana/2018/12/pontes-terao-obras-iniciadas-em-2019.html>. Acesso em 01 de Abril de 2020.

REVISTA IBRACON DE ESTRUTURAS E MATERIAIS. Volume 4—março de 2011. Erosões na Estruturas de Concreto das Galerias de Águas Pluviais Urbanas. ISSN 1983-4195, P.070-090.

REVISTA TÉCNICO-CIENTÍFICADO CREA-PR. Paraná. 1ª Edição—outubro de 2013. Desempenho, Durabilidade e Vida Útil das Edificações: Abordagem Geral. ISSN 2358-5420

SOUZA, Vicente Custódio de; RIPPER, Thomaz. **Patologia, Recuperação e Reforço de Estruturas de Concreto**. São Paulo: Pini, 1998.

TOCANTINS. Decreto nº 5.907, de 12 de fevereiro de 2019, É declarada situação de emergência na região de Porto Nacional, afetada pela suspensão do na ponte sobre o rio Tocantins, na Rodovia TO–255. **Diário Oficial do Estado do Tocantins**, Tocantins, TO, n 5.298, p. 1, 12 fev. 2019.

TUUTTI, Kyosti. **Corrosion of Steel in Concrete**. Swedish Cement and Concrete Research Institute, Stockholm, 1982.

VITÓRIO, Afonso. **Fundamentos da Patologia das Estruturas nas Perícias de Engenharia**. Recife, Instituto Pernambucano de Avaliações e Perícias de Engenharia, 2003.

VITÓRIO, José Afonso Pereira. **Pontes Rodoviárias: Fundamentos, Conservação e Gestão**. Recife, CREA-PE, 2002.

APÊNDICES

APÊNDICE A – FICHA DE INSPEÇÃO ESPECIAL

FICHA DE INSPEÇÃO ESPECIAL	
Inspeção Especial: (2020)	OAE: Ponte de Porto Nacional
Jurisdição: Estadual	
Data de inspeção: 22/01/2020	

PARTE 1: Síntese do relatório de patologia	
1 - Localização	
Rodovia / Município: Porto Nacional	Sentido: Pista dupla
Obra: Ponte de Porto Nacional	Localização: TO-050, TO-255 e TO-070

2 - Descrição da obra	
Quantidade de vãos: 8 vãos	Comprimento total: 900 metros
Pilares: 9 (Nove)	Vigas: Não informado
Largura total: 13,40 metros	Juntas de dilatação: Neopreme

3 - Ensaios Realizados	
Não Realizados	

4 - Classificação da OAE	
Estrutural:	Funcional:
Durabilidade:	

5 - Vistoria	
Data da vistoria: 22/01/2020	
Recurso de aproximação empregados: Barco	

6 - Descrição das anomalias		
Mesoestrutura (Pilares)		
Elementos Vistoriados	Manifestação Patológica	Nota
Pilar P1	Bolor, desgaste superficial do concreto (erosão) e fissuras geométricas com espessuras máximas de 5 mm a 7 mm.	3 (Regular)
Pilar P2	Bolor, desgaste superficial do concreto (erosão), fissuras geométricas com espessuras de máximas de 6 mm a 10 mm, fissuras mapeadas, armaduras expostas e corrosão das armaduras.	1 (Crítica)
Pilar P3	Bolor, desgaste superficial do concreto (erosão), fissuras geométricas com espessuras máximas de 4 mm a 9 mm e fissuras mapeadas	1 (Crítica)
Pilar P4	Bolor, desgaste superficial do concreto (erosão), fissuras geométricas com espessuras máximas de 5 mm a 10 mm, fissuras mapeadas, armaduras expostas e corrosão das	1 (Crítica)

	armaduras.	
Pilar P5	Bolor, desgaste superficial do concreto (erosão), fissuras geométricas com espessuras máximas de 9 mm a 12 mm, fissuras mapeadas, armaduras expostas e corrosão das armaduras.	1 (Crítica)
Pilar P6	Bolor, desgaste superficial do concreto (erosão), fissuras geométricas com espessuras máximas de 5 mm a 18 mm, fissuras mapeadas, armaduras expostas e corrosão das armaduras.	1 (Crítica)
Pilar P7	Bolor, desgaste superficial do concreto, fissuras geométricas com espessuras máximas de 5 mm a 8 mm, fissuras mapeadas, armaduras expostas e corrosão das armaduras	1 (Crítica)
Pilar P8	Bolor, desgaste superficial do concreto (erosão), fissuras geométricas com espessuras máximas de 5 mm a 12 mm, fissuras mapeadas, armaduras expostas e corrosão das armaduras.	1 (Crítica)
Pilar P9	Bolor, desgaste superficial do concreto (erosão), fissuras geométricas com espessuras máximas de 5 mm a 10 mm e reparo inadequado.	1 (Crítica)
PARTE II- Síntese do relatório		
1 - Parecer técnico		
Informar as conclusões da inspeção:	Os pilares da ponte apresentam alto grau de deterioração em constante progressão. Reafirmando a existência da reação álcali-agregado. Tais problemas geram insuficiência estrutural e risco de colapso.	

APÊNDICE B – RELATÓRIO ANTIPLÁGIO

Print screen da tela do relatório anti-plágio

CopySpider Scholar Português [Login](#)

Exportar relatório Exportar relatório PDF Visualizar Gerador de Referência Bibliográfica (ABNT, Vancouver)

2020-1 TCC2 Flavia da Silva Madureira.docx (27/05/2020):

Documentos candidatos

- monografias.brasiles... [1,28%]
- biogdaliga.com.br/tr... [0,35%]
- teses.usp.br/teses/d... [0,3%]
- docente.ifrn.edu.br/... [0,26%]
- aecweb.com.br/revist... [0,26%]
- mapadaobra.com.br/in... [0,13%]
- biblioteca.fsp.usp.b... [0%]
- brasilecola.uol.com... [0%]
- monografias.brasiles... [0%]

Arquivo de entrada: 2020-1 TCC2 Flavia da Silva Madureira.docx (9714 termos)

Arquivo encontrado	Total de termos	Termos comuns	Similaridade (%)
monografias.brasiles...	Visualizar 7594	220	1,28
biogdaliga.com.br/tr...	Visualizar 1987	41	0,35
teses.usp.br/teses/d...	Visualizar 10846	62	0,3
docente.ifrn.edu.br/...	Visualizar 1438	30	0,26
aecweb.com.br/revist...	Visualizar 839	28	0,26
mapadaobra.com.br/in...	Visualizar 1062	14	0,13
revistapensar.com.br...	-	-	-
biblioteca.fsp.usp.b...	Visualizar 1	0	0
brasilecola.uol.com...	Visualizar 1	0	0
monografias.brasiles...	Visualizar 1	0	0

Parece que o documento foi removido do site ou nunca existiu. HTTP response code: 404

Não há notificações novas

16:14 27/05/2020

Relatório anti-plágio

Documentos candidatos

- monografias.brasiles... [1,28%]
- biogdaliga.com.br/tr... [0,35%]
- teses.usp.br/teses/d... [0,3%]
- docente.ifrn.edu.br/... [0,26%]
- aecweb.com.br/revist... [0,26%]
- mapadaobra.com.br/in... [0,13%]
- biblioteca.fsp.usp.b... [0%]
- brasilecola.uol.com... [0%]
- monografias.brasiles... [0%]

Arquivo de entrada: 2020-1 TCC2 Flavia da Silva Madureira.docx (9714 termos)

Arquivo encontrado	Total de termos	Termos comuns	Similaridade (%)
monografias.brasiles...	Visualizar 7594	220	1,28
biogdaliga.com.br/tr...	Visualizar 1987	41	0,35
teses.usp.br/teses/d...	Visualizar 10846	62	0,3
docente.ifrn.edu.br/...	Visualizar 1438	30	0,26
aecweb.com.br/revist...	Visualizar 839	28	0,26
mapadaobra.com.br/in...	Visualizar 1062	14	0,13
revistapensar.com.br...	-	-	-
biblioteca.fsp.usp.b...	Visualizar 1	0	0
brasilecola.uol.com...	Visualizar 1	0	0
monografias.brasiles...	Visualizar 1	0	0

Parece que o documento foi removido do site ou nunca existiu. HTTP response code: 404