

**LIGA DE ENSINO DO RIO GRANDE DO NORTE
CENTRO UNIVERSITÁRIO DO RIO GRANDE DO NORTE
ENGENHARIA CIVIL**

OSVALDO VIEIRA LUCENO JUNIOR

**VISTORIA DE PONTES DE CONCRETO ARMADO E
PROTENDIDO**

NATAL/RN

2019

OSVALDO VIEIRA LUCENO JUNIOR

**VISTORIA DE PONTES DE CONCRETO ARMADO E
PROTENDIDO**

Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia Civil apresentado ao Centro Universitário do Rio Grande do Norte (UNI-RN) como requisito final para obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Profº PhD Fábio Sergio da Costa Pereira.

NATAL/RN

2019

OSVALDO VIEIRA LUCENO JUNIOR

**VISTORIA DE PONTES DE CONCRETO ARMADO E
PROTENDIDO**

Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia Civil apresentado ao Centro Universitário do Rio Grande do Norte (UNIRN) como requisito final para obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Profº PhD Fábio Sergio da Costa Pereira.

Aprovado em: ____/____/____

BANCA EXAMINADORA

Prof. PhD Fabio Sergio da Costa Pereira
Orientador - UNIRN

Profa Msc. Mariana Freitas
Membro Interno - UNIRN

Prof. Msc. Tarcísio Medeiros
Membro Externo - UFRN

Dedico este trabalho aos meus pais Osvaldo Vieira Luceno e Maria do Socorro Sousa Luceno por se constituírem diferentemente como pessoas, admiráveis e essenciais, estímulos que me impulsionaram a buscar vida nova a cada dia, meus agradecimentos por terem aceitado se privar de minha companhia pelos estudos, concedendo a mim a oportunidade de me realizar ainda mais.

AGRADECIMENTOS

Agradeço em primeiro lugar a DEUS por ter me proporcionado mais essa conquista;

Aos meus pais Osvaldo Vieira Luceno e Maria do Socorro Sousa Luceno por acreditar e incentivar minhas escolhas, apoiando-me e esforçando-se junto a mim, para que eu suprisse todas elas;

Aos meus avôs, Anísio Luceno Feitosa e Gercina Sousa Mendonça, pelo carinho e amor;

À Natalia Aragão Tavares minha namorada, pela paciência, amor, carinho e apoio nos momentos da minha vida;

Aos meus irmãos, Rayane Sousa Luceno e Wesley Sousa Luceno, pelo apoio, incentivo, parceria e carinho;

Aos Professores Fabio Pereira e Werner Farkatt, pela orientação, amizade e disponibilidade, por mostrarem serem pessoas receptivas, tranquilas durante todo o desenvolvimento do trabalho;

Ao apoio e ajuda de pessoas que de certa forma foram essenciais durante a vida acadêmica, Tutimés Maxme Tavares, Francilene Aragão Tavares, Jaqueline Rabelo e Iago Domingos Rabelo;

Aos meus amigos da Universidade, Ismael Bismark, Raimundo Tavares e Samir Valones pela amizade, respeito e pelos bons momentos passados, noites de estudo passadas juntos durante esse período;

Aos professores, José Corrêa, Adelino Valente, Elson José, Joemilia, Marcos Aurélio, Leonardo Hoppe, Anderson Albino e Mariana Freitas pelos conhecimentos e experiências passadas nesta jornada acadêmica.

"Não existem sonhos impossíveis para aqueles que realmente acreditam que o poder realizador reside no interior de cada ser humano. Sempre que alguém descobre esse poder, algo antes considerado impossível, se torna realidade."

(Albert Einstein)

RESUMO

As obras de arte especiais são de suma importância para o desenvolvimento do país e fomentam a evolução nos conhecimentos das técnicas de construção, tendo a função de transpor obstáculos tais como avenidas, vales e rios. A degradação das estruturas destas construções está relacionada à parâmetros como: idade, agressividade do ambiente e ausência de atividades de manutenção. Sendo assim, é de pronto justificado o investimento em ações preventivas, tanto no que se refere ao conhecimento mais apurado das manifestações patológicas, como no que consiste em técnicas de manutenção preventiva durante a utilização, já que a vida útil desse tipo de obra está ligada a qualidade dos procedimentos construtivos e ao controle de anomalias que surgem através do tempo. O presente trabalho apresenta uma abordagem na problemática da ausência de vistoria em pontes e tem como um dos objetivos realizar o procedimento de vistoria na ponte de Igapó localizada na cidade de Natal/RN e o desenvolvimento do mesmo se deu por diversos levantamentos bibliográficos, consultas e análises em artigos científicos, periódicos disponíveis relacionados à área de pesquisa, o caracterizando como uma pesquisa bibliográfica descritiva atrelada a prática de vistoria in-loco respaldado pela NBR 9452/2016 com objetivo de expor os principais problemas encontrados e comprovar a inexistência de manutenção na ponte vistoriada. Constatou-se que a principal patologia detectada foi a corrosão das armaduras dos pilares além de deslocamento do concreto, presença de manchas, indicando que o processo corrosivo já se encontra instalado. As juntas de dilatação do tabuleiro não estão funcionando adequadamente, propiciando a passagem de água para as peças abaixo do tabuleiro, além de apresentar fissuras transversais à medida que a manutenção não é feita de forma correta, é inevitável a falência do sistema de vedação nos aparelhos de apoio, sendo possível detectar que os mesmos se encontram deformados com espalhamento do material. Por conseguinte, a ponte vistoriada apresenta problemas patológicos decorrentes da falta de manutenção, afetando as condições de serviço e de segurança estrutural, por isso, deve-se realizar procedimentos de manutenção o quanto antes, visando uma melhoria na qualidade de uso e operação de acordo com a metodologia executiva proposta neste trabalho.

Palavras-Chave: Vistoria. Inspeção. Pontes. Manutenção.

ABSTRACT

Special works of art are of great importance for the development of the country and foster the evolution in the knowledge of construction techniques, having the function of crossing obstacles such as avenues, valleys and rivers. The degradation of the structures of these constructions is related to parameters such as: age, aggressiveness of the environment and absence of maintenance activities. Therefore, the investment in preventive actions is justified, both in what refers to the more accurate knowledge of the pathological manifestations, and in what consists of techniques of preventive maintenance during the use, since the useful life of this type of work is linked the quality of the constructive procedures and the control of anomalies that arise through time. The present work presents an approach in the problem of the absence of survey in bridges and has as one of the objectives to carry out the survey procedure in the Igapó bridge located in the city of Natal / RN and the development of the same one was due to several bibliographical surveys, analyzes in scientific articles, available periodicals related to the research area, characterizing it as a descriptive bibliographical research linked to the in-situ survey practice backed by NBR 9452/2016 with the objective of exposing the main problems encountered and proving the lack of maintenance in the bridge inspected. It was verified that the main pathology detected was the corrosion of the reinforcement of the pillars besides displacement of the concrete, presence of stains, indicating that the corrosive process is already installed. The expansion joints of the tray are not working properly, allowing the water to pass through the parts below the tray, besides presenting cross-fissures as the maintenance is not done correctly, it is inevitable the failure of the system of sealing in the devices it is possible to detect that they are deformed with spreading of the material. Therefore, the surveyed bridge presents pathological problems due to lack of maintenance, affecting service conditions and structural safety, therefore, maintenance procedures must be carried out as soon as possible, aiming at an improvement in the quality of use and operation according to with the executive methodology proposed in this work.

Keywords: Survey. Inspection. Bridges. Maintenance.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Lei de Sitter.....	13
Figura 2 - Desabamento do viaduto eixão sul em Brasília.....	14
Figura 3 - Fluxograma de uma Vistoria.....	17
Figura 4 - Lápis medidor de pH.....	18
Figura 5 - Profundidade e presença de cloretos através.....	18
Figura 6 - Ensaio de resistência a compressão.....	19
Figura 7 - Ensaio de potencial de corrosão.....	19
Figura 8 - Ensaio com pacômetro digital.....	20
Figura 9 - Ensaio de ultrassom.....	20
Figura 10 - Manifestação Patológica na Ponte de Igapó.....	21
Figura 11 - Ponte Igapó.....	21
Figura 12 - Divisão Estrutural de uma ponte sob ponto de vista funcional.....	23
Figura 13 - Ponte rio Niterói construída em concreto protendido.....	24
Figura 14 - Classificação de pontes quanto aos tipos.....	25
Figura 15 - Disposição das cargas estáticas.....	26
Figura 16 - Elementos utilitários de uma ponte.....	27
Figura 17 - Junta de dilatação de uma ponte.....	28
Figura 18 - Dispositivos de drenagem do tabuleiro.....	28
Figura 19 - Janela de acesso ao interior da estrutura.....	29
Figura 20 - Aparelho de apoio com articulações fixas e moveis.....	30
Figura 21 - Aparelho de apoio de Neoprene.....	31
Figura 22 - Ausência de Inspeção e Manutenção em ponte.....	34
Figura 23 - Dano estrutural em viaduto.....	34
Figura 24 - Inspeção subaquática.....	43
Figura 25 - Deterioração de estrutura exposta ao ambiente agressivo.....	45
Figura 26 - Medição de fissuras.....	47
Figura 27 - Corrosão de armaduras.....	48
Figura 28 - Desagregação do concreto.....	49
Figura 29 - Ensaio de carbonatação no concreto.....	50
Figura 30 - Diagrama de um sistema típico de gestão de pontes.....	51
Figura 31 - Desempenho de uma ponte em função do tempo.....	52

Figura 32 - Vista de Localização da ponte de Costa e Silva.....	53
Figura 33 - Mapa multimodal: Localização da Ponte de Igapó.....	54
Figura 34 - Pilar da ponte apresenta corrosão generalizada.....	56
Figura 35 - Desplacamento do concreto e aço deteriorado.....	56
Figura 36 - Perda de seção considerável do aço.....	57
Figura 37 - Detalhe aparelho de apoio da segunda ponte.....	58
Figura 38 - Detalhe aparelho de apoio obra antiga.....	59
Figura 39 - Dreno posicionado sobre o talão inferior da viga e Junta com problemas de vedação.....	60
Figura 40 - Corrosão em viga.....	60
Figura 41 - Viga e Pilar apresentam corrosão.....	61
Figura 42 - Infiltração causada por deficiência na junta.....	62
Figura 43 - Fissura no pavimento sobre a junta.....	62
Figura 44 - Presença de cloretos nos pilares.....	63
Figura 45 - Ponte de igapó: Corrosão em viga.....	64

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AASHTO	American Association of State and Highway Transportation Officials.
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CEB	Comité Euro-Internacional du Béton.
DNER	Departamento Nacional de Estradas de Rodagem
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
FIB	International Federation for Structural Concrete
NBR	Norma Brasileira aprovada pela ABNT
OAE	Obras de Arte Especiais
RN	Rio Grande do Norte
SGO	Sistema de Gerenciamento de Obras de Arte Especiais
SGM	Sistemas de Gerência e Manutenção

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
1.1	ESTRUTURA DA PESQUISA	15
2	OBJETIVOS	15
2.1	OBJETIVO GERAL	15
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	16
3	JUSTIFICATIVA	16
4	METODOLOGIA	17
5	CONCEITOS INICIAIS DAS OBRAS DE ARTE	22
5.1	DEFINIÇÕES E ELEMENTOS ESTRUTURAIS	22
5.2	ELEMENTOS UTILITÁRIOS	27
5.3	APARELHOS DE APOIO	30
6	TIPOS DE INSPEÇÃO SEGUNDO NBR 9452/2016	31
6.1	INSPEÇÃO CADASTRAL	32
6.2	INSPEÇÃO ROTINEIRA	33
6.3	INSPEÇÃO ESPECIAL	33
6.4	INSPEÇÃO EXTRAORDINÁRIA	35
6.5	CRITÉRIOS DE CLASSIFICAÇÃO DE OBRAS DE ARTE	35
7	ROTEIRO PARA REALIZAÇÃO DE UMA VISTORIA SEGUNDO A NBR 9452/2016	37
7.1	EQUIPE DE INSPEÇÃO	37
7.2	INSPEÇÃO DA OBRA	38
7.3	RELATÓRIO FINAL DA INSPEÇÃO	38
8	TIPOS DE INSPEÇÃO DE ACORDO COM A LITERATURA INTERNACIONAL	41
8.1	INSPEÇÃO SUBMERSA	43
9	AMBIENTE E MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS	44
9.1	FISSURAS	47
9.2	CORROSÃO DE ARMADURAS	48

9.3	DESAGREGAÇÃO.....	49
9.4	CARBONATAÇÃO	50
10	GESTÃO DE PONTES.....	51
11	ESTUDO DE CASO	53
11.1	PONTE COSTA E SILVA (IGAPÓ).....	53
11.1.1	PILARES.....	55
11.1.2	APARELHOS DE APOIO	58
11.1.3	DRENAGEM DEFICIENTE DO TABULEIRO	59
11.1.4	CORROSÃO DAS ARMADURAS DAS VIGAS	60
11.1.5	JUNTAS DE DILATAÇÃO	61
12	RESULTADOS E DISCUSSÕES	63
13	CONCLUSÕES.....	66
14	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	68

1 INTRODUÇÃO

As obras de arte especiais são de essencial importância para o desenvolvimento do país e fomentam a evolução nos conhecimentos das técnicas de construção, tendo a função de transpor obstáculos tais como avenidas, vales e rios. A vida útil desse tipo de obra está ligada a qualidade dos procedimentos construtivos e ao controle de anomalias que surgem através do tempo. A degradação das estruturas destas construções está relacionada à parâmetros como: idade, agressividade do ambiente, carregamentos dinâmicos e ausência de atividades de manutenção.

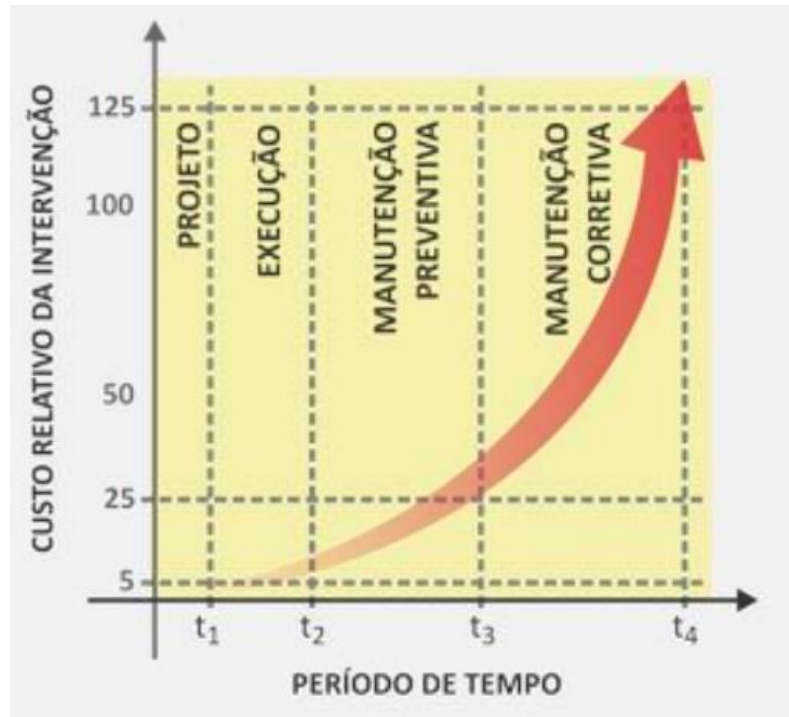
A qualidade de uma ponte pode ser medida pelo êxito com que se satisfaz os objetos básicos implícitos em seu projeto, que são: funcional, estrutural, econômico e estético. Relaciona-se principalmente com a suficiência estrutural de uma ponte, que não só deve manter a ponte em pé, mas também evitar que as características de funcionamento fujam de suas finalidades ou aumentem o custo de manutenção. (O'CONNOR, 1975).

Quando uma intervenção em uma ponte é necessária cria-se um grande transtorno e um custo social. Sendo assim, é justificado o investimento em ações preventivas, tanto no que se refere ao conhecimento mais apurado das manifestações patológicas, como no que consiste em técnicas de manutenção preventiva durante a utilização. Este tipo de manutenção é de suma relevância no monitoramento das condições da obra, tendo a finalidade de evitar que os problemas existentes evoluam, diminuindo o período de vida útil da estrutura.

A relação entre o custo relativo de manutenção está correlacionada com as etapas de projeto, execução, manutenção preventiva e manutenção corretiva sendo expressa pela Lei de Sitter, conforme mostrado na (figura 1), logo, quanto maior o tempo para realizar uma intervenção será necessário um maior custo de procedimento de reparo. Conforme a Lei de Sitter, a manutenção preventiva é primordial nessa situação sendo necessário realizar inspeções com a finalidade de combater e controlar os possíveis problemas surgidos, para garantir uma maior vida útil e o melhor desempenho de serviço. Logo, as inspeções de rotina têm como finalidade compreender e recolher informações das condições da obra de arte especiais (OAE),

já que a maioria dos processos de deterioração se desenvolvem gradualmente, tem manifestações visíveis e podem ser detectados por ensaios específicos.

FIGURA 1 - Lei de Sitter.



FONTE: Compilado de HabitaPlus (2018).

De acordo com Helene (1992), a Lei de Sitter pode ser analisada da seguinte maneira:

Projeto: as medidas tomadas em nível de projeto com o objetivo de aumentar a proteção e durabilidade da estrutura são associadas a um baixo custo. **Execução:** as medidas executadas durante a execução possuem um custo cinco vezes maior que as medidas realizadas na etapa de projeto para obter-se um mesmo “grau” de durabilidade. **Manutenção preventiva:** Para obtenção do mesmo “grau” de durabilidade e proteção, medidas tomadas com antecedência para prevenir o surgimento de defeitos. **Manutenção corretiva:** Envolve os trabalhos de diagnóstico, prognóstico, reparo e proteção das estruturas que já possuem manifestações patológicas.

Os segmentos de inspeção e diagnóstico de patologias são de grande importância e tem ganhado certa notoriedade devido a ocorrência de alguns acidentes causados por negligência de vistorias, tendo como exemplo o viaduto eixão sul (2018) localizado em Brasília/DF, que sofreu colapso estrutural conforme mostrado na (figura 2). Esse fato demonstra a falta de uma cultura de manutenção nas obras de artes no Brasil, esclarecendo que os valores inerentes a metodologia de recuperação e reforço estrutural seriam menores, se fossem adotados os procedimentos de correção das

patologias existentes, evitando a ocorrência destas manifestações patológicas prolongando a vida útil das estruturas existentes.

Apesar da crescente preocupação em prolongar a vida útil das estruturas, podemos afirmar que a durabilidade com a realização de inspeções e manutenções ainda não é uma preocupação fundamental observada na cadeia da construção civil, principalmente no caso de pontes, pois estas estruturas estão inseridas em um ambiente mais agressivo de acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas ABNT NBR 6118/2014. Projeto de estruturas de concreto – Procedimento.

O presente trabalho apresenta uma abordagem na problemática da ausência de vistoria em pontes e tem como um dos objetivos realizar o procedimento de vistoria na ponte de Igapó localizada na cidade de Natal/RN, destacando como as manifestações patológicas podem ser solucionadas. Uma literatura rica, baseada numa pesquisa bibliográfica respaldada na base de dados disponibilizados pelo Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT) e Departamento de Estradas de Rodagem (DNER), normas de vistoria, manuais técnicos, livros e artigos científicos proporcionou um trabalho com melhor compreensão do tema abordado.

FIGURA 2 - Desabamento do viaduto eixão sul em Brasília.



FONTE: Revista Istoé (2018).

1.1 ESTRUTURA DA PESQUISA

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

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

O segundo capítulo, enfatiza os objetivos gerais e específicos a serem abordados.

No terceiro capítulo, é apresentada a justificativa explicando motivo pelo qual este tema foi escolhido e qual a função do trabalho.

O quarto capítulo, apresenta a metodologia descrevendo os ensaios realizados vinculados a pesquisas bibliografia sobre o tema abordado.

Os capítulos 5,6,7,8,9 e 10, contemplam a revisão bibliográfica do trabalho respaldando o tema central do presente trabalho.

O capítulo décimo primeiro, enfatiza o estudo de caso descrevendo os ensaios realizados na vistoria.

O capítulo décimo segundo, apresenta os resultados e discussões, analisando os dados relativos ao estudo de caso.

O capítulo décimo terceiro, contempla a conclusão do trabalho, respaldado nos dados de estudo de caso do presente trabalho.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Apresentar os modelos e normas de vistorias existentes no Brasil e elaborar uma revisão bibliográfica a respeito de pontes, vistoria e manutenção apresentando as principais abordagens a respeito dos tipos de inspeções realizadas e os principais métodos utilizados para tais obras.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Realizar vistoria em uma das principais pontes na cidade de Natal (Ponte de Igapó) baseado pela NBR 9452/2016;

Apresentar a evolução das principais manifestações patológicas existentes;

Descrever o procedimento de manutenção dos problemas encontrados;

3 JUSTIFICATIVA

Em virtude da ausência de manutenção nas estruturas e realização de inspeções e vistorias de pontes no Brasil verifica-se a ocorrência de muitas patologias nas construções, por isso, notou-se a necessidade de realizar inspeção em uma das principais pontes de Natal/RN: A Ponte Costa e Silva conhecida comumente como Ponte de Igapó.

As inspeções não só ajudam a prevenir as adversidades, mas também fornecem informações necessárias para uma administração eficaz da rede de pontes. Durante as inspeções, a necessidade de reparos urgentes, manutenção e as substituições de partes dos elementos de pontes podem ser detectadas e notificadas. Com base no relatório de inspeção pode-se definir prioridades e estabelecer programas para aplicar os recursos disponíveis aos pontos mais críticos. (MITRE, 2005).

A manutenção é algo que deve ser visto como importante e necessário na vida de cidadãos conscientes e responsáveis, não só uma obrigação, mas um hábito. O controle das manifestações patológicas é de primordial importância para certificar que as estruturas atendam a vida útil para que as OAE foram projetadas. Para isso são utilizados os métodos de inspeção e avaliação que dependem do tipo de obra, tendo como respaldo as normas que estabelecem parâmetros para inspeções de pontes e viadutos de concreto armado e protendido.

De acordo com DNER (1994), a maioria de pontes de concreto no mundo são avaliadas através de inspeções visuais, e no Brasil os ensaios só são aplicados em casos mais relevantes. Daí a importância do uso de ensaios como ferramentas para avaliação de pontes de concreto, em vista da deterioração contínua de nossas obras,

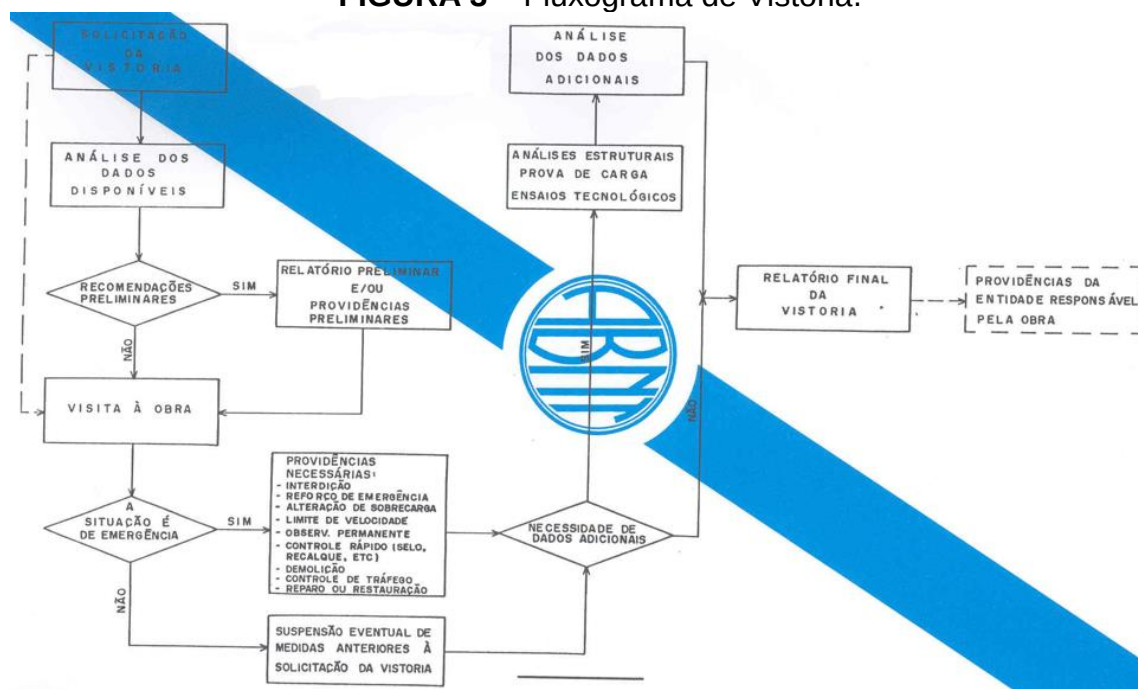
além da necessidade da definição correta da causa das manifestações patológicas existentes.

A abrangência deste trabalho é inspecionar a ponte e diagnosticar as manifestações patológicas e as condições em que se encontram as obras de arte especiais (OAE), contemplando pontes localizadas na cidade de Natal-RN, mas também fazer um breve estudo dos fatores que influenciaram no surgimento das manifestações patológicas encontradas.

4 METODOLOGIA

Esse trabalho possui elementos que o caracterizam como uma pesquisa bibliográfica descritiva atrelada à prática de vistorias in-loco conforme de uma ponte de Natal (Figura 3) com o objetivo de expor os principais problemas encontrados devido à ausência de inspeções e comprovar a inexistência de manutenção em obras de pontes. Seu desenvolvimento se deu por diversos levantamentos bibliográficos, consultas e análises em artigos científicos, periódicos disponíveis relacionados à área de exploração.

FIGURA 3 – Fluxograma de Vistoria.



FONTE: NBR 9452 (2016).

Por fim, serão apresentadas as principais ocorrências patológicas e suas origens, bem como as possíveis causas desses defeitos na estrutura, defeitos estes, levantados de acordo com os ensaios realizados os quais serão:

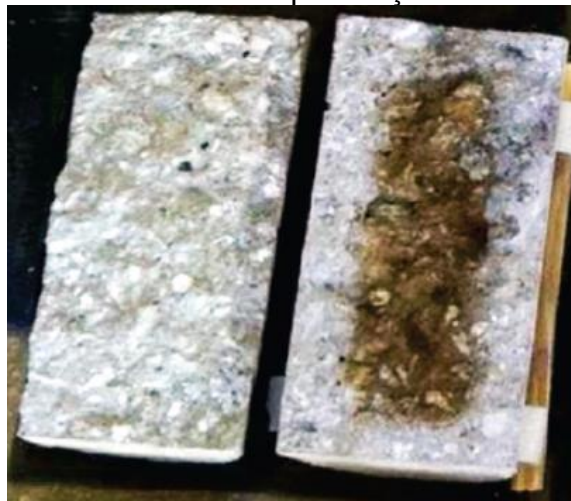
- pH do concreto, através do lápis medidor de pH (Figura 4);
- Profundidade e presença de carbonatação através do indicador fenolftaleína;
- Profundidade e presença de cloretos através do indicador nitrato de Prata (Figura 5);
- Resistência a compressão, através de prensa hidráulica (Figura 6);
- Probabilidade de Corrosão, através do eletrodo de cobre/sulfato de cobre. (Figura 7);
- Diâmetro das Armaduras, através do pacômetro digital (Figura 8);
- Ensaio de ultrassom (Figura 9);

FIGURA 4 – Lápis medidor de pH.



FONTE: Rodrigues (2015)

FIGURA 5 – Profundidade e presença de cloretos através.



FONTE: IBRACON (2018).

FIGURA 6 – Ensaio de resistência a compressão.



FONTE: AD Fiducia (2010).

FIGURA 7 – Ensaio de potencial de corrosão.



FONTE: AD Fiducia (2015).

FIGURA 8 – Ensaio com pacômetro digital.



FONTE: AD Fiducia (2015).

FIGURA 9 – Ensaio de ultrassom.



FONTE: AD Fiducia (2015).

Além de verificar as características da situação atual do concreto e armaduras, com destaque dado a realização de ensaios, é que a maioria dos problemas encontrados em pontes é devido a corrosão nas armaduras e desgaste dos aparelhos de apoio, consequências do ambiente agressivo que essas obras se encontram e da falta de manutenção. Dessa forma, acrescentam-se informações e

conhecimentos em relação aos procedimentos que devem ser levados em consideração durante uma vistoria, atingindo qualidade.

A Inspeção foi realizada na ponte de Ponte de Igapó (Figuras 10 e 11) e serão apresentados os dados relativos às manifestações patológicas, suas causas e soluções a serem executadas e a situação atual da ponte, neste aspecto as inspeções serão baseadas na NBR 9452/2016 Inspeções em Pontes e Viadutos e nos manuais do DNIT.

FIGURA 10 – Manifestação Patológica na Ponte de Igapó.



FONTE: Tribuna do norte (2019).

FIGURA 11 – Ponte Igapó.



FONTE: Tribuna do Norte (2010).

5 CONCEITOS INICIAIS DAS OBRAS DE ARTE

5.1 DEFINIÇÕES E ELEMENTOS ESTRUTURAIS

Denomina-se ponte a obra destinada a permitir a transposição de obstáculos podendo ser rios ou braços de mar. Denomina-se viaduto quando o obstáculo transposto é um vale ou outra via (MARCHETTI, 2008). Já segundo o Departamento Nacional de Infraestrutura (DNIT) temos uma segunda definição. Ponte, estrutura, inclusive apoios, construída sobre uma depressão ou uma obstrução, tais como água, rodovia ou ferrovia, que sustenta uma pista para passagem de veículos e outras cargas móveis, e que tem um vão livre, medido ao longo do eixo da rodovia, de mais de seis metros. Ficam incluídos nesta definição viadutos, passagens superiores e passagens inferiores (DNIT, 2004a).

Para Pfeil (1979, p.1),

Também há a definição dos pontilhões que são as pontes de pequenos vãos, havendo divergência entre os vãos limites dos pontilhões, fixando-os alguns engenheiros em cinco metros e outros em dez metros ou mais. Não há, entretanto, qualquer importância na distinção entre pontes e pontilhões, pois ambos se subordinam aos mesmos procedimentos de projeto e de construção.

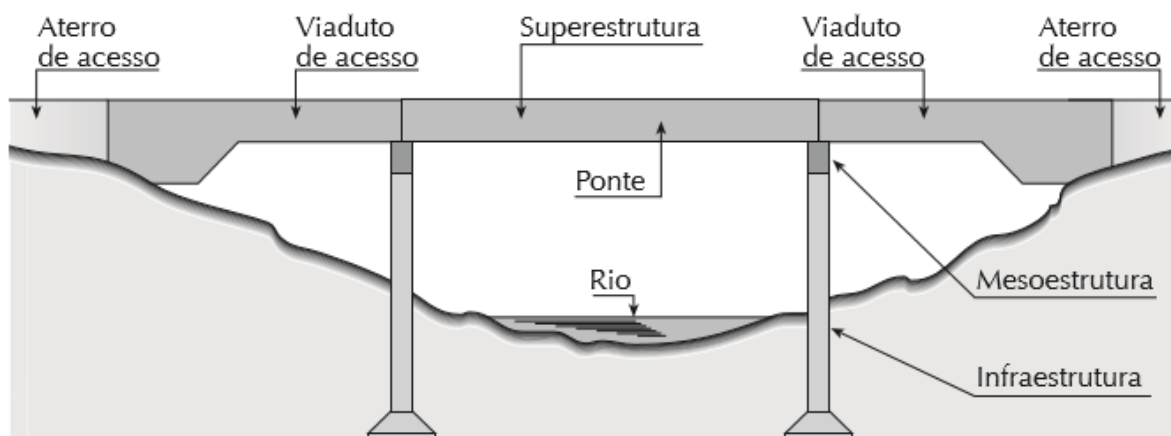
Segundo Pfeil (1979), a subdivisão de pontes segue a seguinte maneira: As pontes, em sua maioria, sob o ponto de vista funcional, podem ser divididas em três partes principais: infraestrutura, mesoestrutura e superestrutura, conforme (Figura12) Logo o DNIT normatiza que a infraestrutura da ponte é o componente que engloba todos os elementos que suportam a superestrutura. A função da infraestrutura é a de transmitir as cargas da superestrutura, e a sua própria carga, às fundações diretas ou profundas. os elementos da infraestrutura funcionam como peças carregadas axialmente, com capacidade de absorver solicitações horizontais, que provocam momentos fletores. Há dois elementos básicos nas infraestruturas: encontros e pilares. Os encontros se existentes, são elementos que suportam as extremidades das pontes, ao mesmo tempo em que arrimam os acessos rodoviários; os pilares isolados, maciços ou aporticados, são os apoios intermediários (DNIT, 2004b).

Mesoestrutura é a parte da ponte constituída pelos pilares. É o elemento que recebe os esforços da superestrutura e os transmite à infraestrutura. A superestrutura é constituída de vigas e lajes. É o elemento de suporte do estrado por onde se trafega, sendo assim, a parte útil da obra. (MARCHETTI, 2008).

A superestrutura, é composta geralmente de lajes e vigas principais e secundárias, sendo o elemento de suporte imediato do estrado, que constitui a parte útil da obra, sob ponto de vista de sua finalidade (PFEIL, 1979). Portanto, a superestrutura recebe diretamente as cargas do tráfego. Caracteriza as vigas principais como longarinas e as transversais como transversinas. O tabuleiro e o sistema principal de vigas funcionam de forma integrada (MASON, 1977). No entanto, as superestruturas também podem ser classificadas pelo modo como transmitem as cargas aos apoios: por compressão, por tração, por flexão ou pela combinação dessas três solicitações. (DNIT, 2004b).

Os encontros, considerados por alguns engenheiros como constituintes da mesoestrutura, e por outros como fazendo parte da infraestrutura, são elementos de características extremamente variáveis, cuja função principal é receber o empuxo dos aterros de acesso e evitar sua transmissão aos demais elementos da ponte. Os encontros, apesar de imprescindíveis em algumas pontes, podem ser dispensados em viadutos e em pontes cujos aterros de acesso não apresentam perigo de erosão pelo curso d'água. Nesses casos, o estrado apresenta extremos em balanço e, geralmente, os pilares extremos ficam sujeitos a empuxo dos aterros de acesso. (PFEIL, 1979).

FIGURA 12 - Divisão Estrutural de uma ponte sob ponto de vista funcional.



FONTE: Marchetti (2008).

As pontes podem ser classificadas de diversas maneiras: finalidade, material utilizado, tipo estrutural. Conforme mostrado na figura 12. Quanto à sua finalidade, as pontes podem ser rodoviárias, ferroviárias, para pedestres, geralmente chamadas de passarelas etc. Podem, ainda, destinar-se ao suporte de tubulações para água, esgoto, gás, óleo, pistas de aeroportos e até vias navegáveis (ponte canal). Quanto ao material com que predominantemente são construídas, as pontes podem ser de madeira, de pedra, de concreto armado, protendido e metálicas (geralmente de aço e, excepcionalmente, de ligas de alumínio). Quanto ao tipo estrutural as pontes podem ser em laje, em vigas retas, de alma cheia, em treliça, em quadros rígidos, em arcos ou abóbadas e pênséis ou suspensas (Figura 14) (PFEIL, 1979).

No entanto, com a evolução dos materiais e metodologia construtiva existem outras formas de se classificar uma ponte podendo ser pelo sistema estrutural: vigas, pórticos, arcos, pênséis, atirantada, estaiada, pelo material: madeira, alvenaria, concreto armado, concreto protendido (Figura 13), aço, tipo construtivo: in-loco, pré-moldada, balanços sucessivos, aduelas.

FIGURA 13 – Ponte rio niterói construída em concreto protendido.

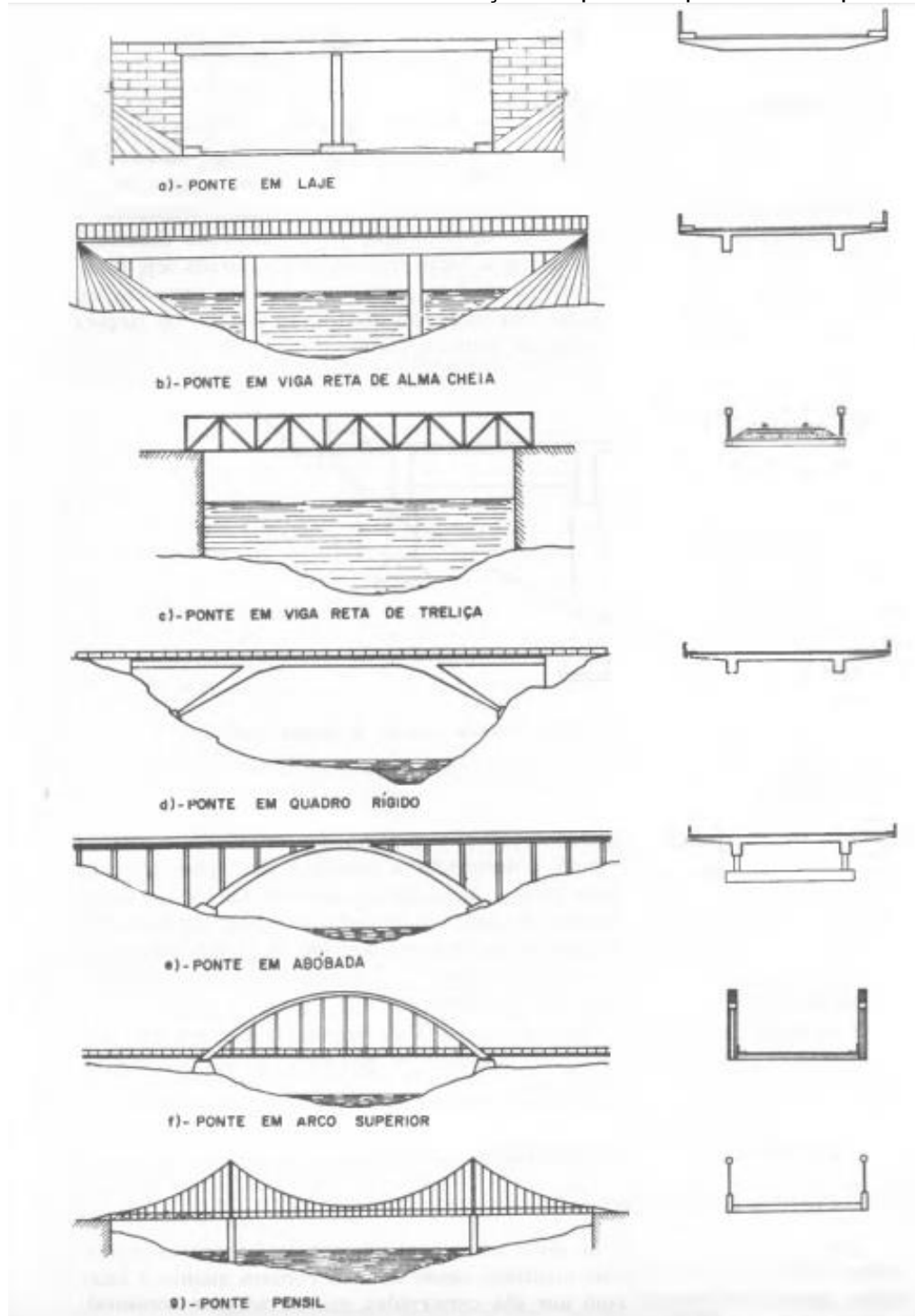


FONTE: Bastos (2016).

O projeto de uma ponte inicia-se, naturalmente, pelo conhecimento de sua finalidade, da qual decorrem os elementos geométricos definidores do estrado e as cargas para as quais será procedido seu dimensionamento. Além do conhecimento

da seção transversal do estrado e das cargas úteis, a execução do projeto de uma ponte exige, ainda, levantamentos topográficos, hidrológicos e geotécnicos. Outras informações acessórias tais como elementos de interesse construtivo ou econômico, notícias tecnológicas de caráter especial, podem ser determinantes na escolha do tipo de obra (Figura 14), (PFEIL, 1979).

FIGURA 14 - Classificação de pontes quanto aos tipos.



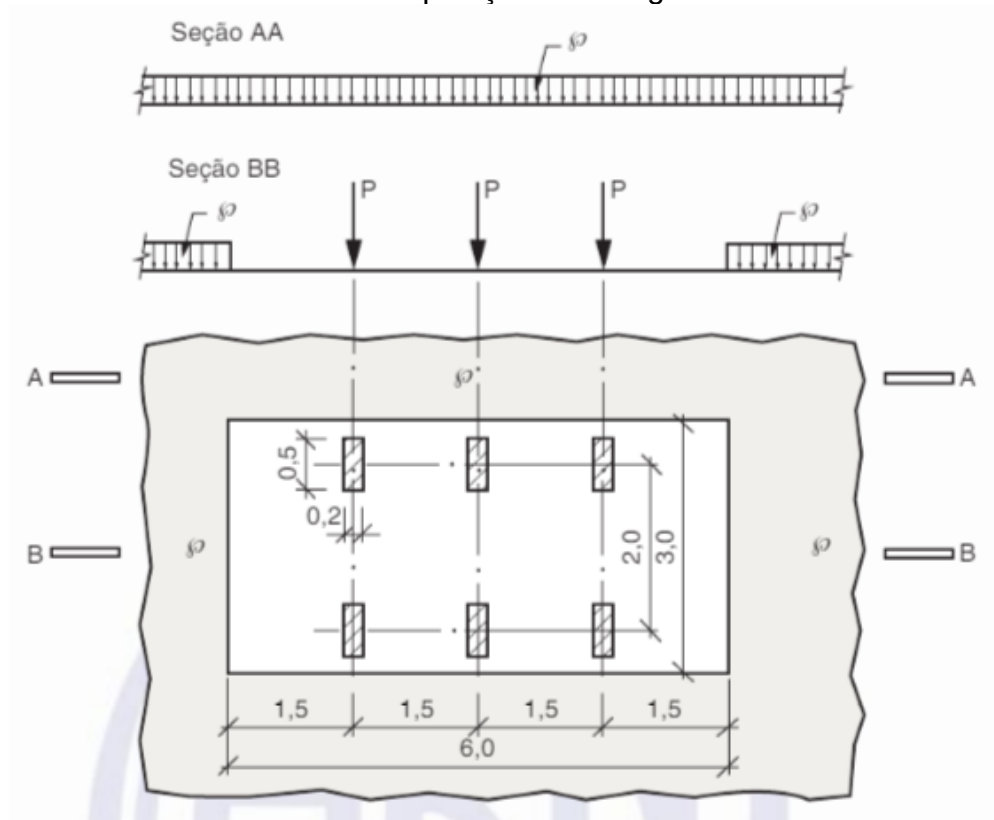
FONTE: PFEIL (1979).

O problema de execução deve ser sempre encarado pelo projetista de pontes, não se pode esperar que um projeto ignore problemas de execução seja o melhor ou mesmo um bom projeto (O'CONNOR, 1975).

As primeiras normas brasileiras relacionadas ao cálculo e execução de estruturas de concreto armado abrangiam obras com diferentes geometrias transversais, calculadas para solicitações causadas por diferentes carregamentos e dimensionadas e detalhadas seguindo os critérios utilizados na época da realização de seus projetos, critérios esses não mais aceitos (DNIT, 2004b).

De acordo com a NBR 7188/2013, as ações para pontes, galerias e viadutos rodoviários são definidas a partir das cargas estáticas, sua disposição e intensidade, para verificações e dimensionamento dos diversos elementos estruturais, assim como para verificações globais. A carga móvel rodoviária padrão TB-450 é definida por um veículo tipo de 450 kN, com seis rodas, $P = 75$ kN, três eixos de carga afastados entre si em 1,5 m, com área de ocupação de 18,0 m², circundada por uma carga uniformemente distribuída constante $p = 5$ kN/m², conforme Figura 15.

FIGURA 15 – Disposição das cargas estáticas.



FONTE: NBR 7188 (2013).

Para obras em estradas vicinais municipais de uma faixa e obras particulares, a critério da autoridade competente, a carga móvel rodoviária é, no mínimo igual, ao tipo TB-240, que é definida por um veículo tipo de 240 kN, com seis rodas, $P = 40$ kN, com três eixos de carga afastados entre si em 1,5 m. (NBR 7188, 2013).

A carga móvel assume posição qualquer em toda a pista rodoviária com as rodas na posição mais desfavorável, inclusive acostamento e faixas de segurança. A carga distribuída deve ser aplicada na posição mais desfavorável, independentemente das faixas rodoviárias. (NBR 7188, 2013).

5.2 ELEMENTOS UTILITÁRIOS

- Barreira de proteção para veículos: constituem obstáculos físicos, com a finalidade de impedir a saída dos veículos da pista de rolamento, mesmo quando desgovernados podem ser metálicas ou de concreto. No caso das barreiras em concreto, estas são moldadas continuamente em concreto armado, de seção com resistência e dimensões adequadas, de forma a conter os veículos desgovernados. (DNIT, 2004b).
- Guarda corpo ou parapeito: são peças laterais instaladas ao longo de obras de arte ou vias, utilizadas para a proteção dos pedestres e segurança dos veículos. São dimensionados de forma a resistir a um esforço de 80kgf por metro linear, aplicado ao corrimão, possuem altura variável de 0,75m a 1,00m, podendo ser metálicos ou de concreto. (DNIT, 2004b).
- Passeios ou calçadas para pedestres: são as partes do tabuleiro das pontes destinadas à passagem de pedestres, e têm largura de cerca de 1,5m. (DNIT, 2004b).
- Juntas de dilatação: as juntas de dilatação devem ser previstas para que fissuras prematuras devidas às variações de temperatura e umidade não ocorram; são utilizadas para aliviar as tensões de tração do concreto. Devem ser projetadas e executadas de forma a impedir a entrada de água ou outros elementos prejudiciais ao concreto e assegurar a transmissão adequada das cargas nas placas contíguas. Localizam-se em intervalos regulares, perpendicularmente ao eixo do pavimento. (LENCIONI, 2005), de acordo com os elementos unitários descritos acima serão representados conforme Figuras 16 e 17.

FIGURA 16 – Elementos utilitários de uma ponte.



FONTE: Lencioni (2005).

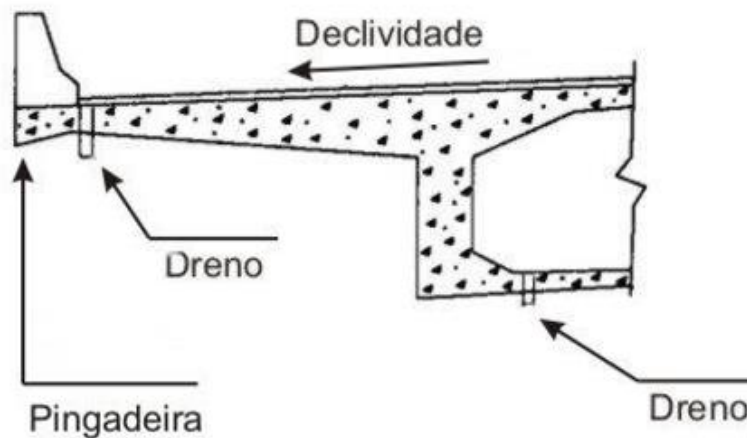
FIGURA 17 – Junta de dilatação de uma ponte.



FONTE: AECweb(2015.)

- Dispositivos de drenagem: são parte do sistema de drenagem de uma ponte/viaduto. São parte do sistema de escoamento de águas superficiais e subsuperficiais, que tem por finalidade garantir a estabilidade dos maciços ou do leito da rodovia. A inclinação transversal da pista/tabuleiro conduz a água para os bordos (Figura 18), onde se encontram os tubos de drenagem, pelos quais a água escoia, caindo sobre o solo. (LENCIONI, 2005)

FIGURA 18 – Dispositivos de drenagem do tabuleiro.



FONTE: Lencioni (2005).

- Caminhos de acesso para inspeção da obra: são aberturas na laje inferior ou na laje do tabuleiro ou janelas deixadas nas transversinas, utilizadas para acesso e inspeção do interior de vigas celulares. Nas pontes com vigamento aberto inferiormente conforme mostrado na Figura 19 não há, em geral, previsão de caminho de acesso, empregando-se andaimes adequados para inspeção da obra.

FIGURA 19 –Janela de acesso ao interior da estrutura.



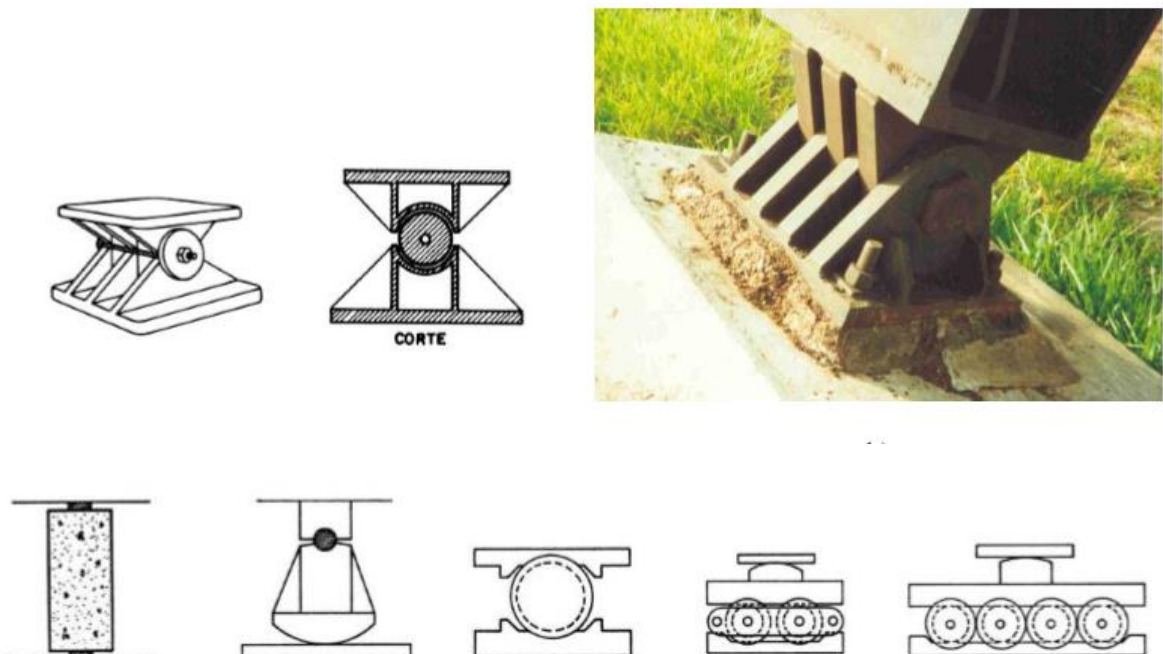
FONTE: Lencioni (2005).

5.3 APARELHOS DE APOIO

Os aparelhos de apoio podem ser definidos como dispositivos que fazem transição dos esforços entre a superestrutura para mesoestrutura. Suas principais funções são: Transmitir as cargas da superestrutura à mesoestrutura permitir os movimentos da superestrutura, devido à expansão e retração da própria superestrutura provocado principalmente pela variação temperatura; permitir as rotações da superestrutura, devido deflexões provocadas pela carga permanente e cargas acidentais. (DNIT, 2004b).

De acordo com Pfeil (1979), os aparelhos de apoio, são peças de transição entre os vigamentos principais e os pilares ou encontros, as quais transmitem as reações de apoio e permitem os movimentos das vigas provocados por variações de temperatura ou outras causas. Para (MASON, 1977, p.169) a disposição dos aparelhos de apoio (Figura 20 e 21) deverá ser tal que garanta a fixação da superestrutura, considerada como um corpo rígido. Há vários tipos de aparelhos, mas podemos definir três tipos segundo as articulações. As articulações fixas, articulações móveis e articulações elásticas.

FIGURA 20 – Aparelho de apoio com articulações fixas e moveis.



FONTE: Compilado de Lencioni (2005).

FIGURA 21 – Aparelho de apoio de Neoprene

FONTE: Bastos (2016).

De acordo com (DNIT, 2004^a, p.5).

Todos os aparelhos de apoio devem ser cuidadosamente examinados para verificação de seu estado e de seu funcionamento. Os aparelhos de apoio, que sofrem o reflexo de anomalias estruturais, tais como recalques de apoios, mau funcionamento de certos tipos de juntas de dilatação, movimentação de estrados esconsos, choques de materiais flutuantes nas grandes cheias, devem ser examinados para verificar se estão bem posicionados e alinhados, se podem mover-se livremente ou se a falta de conservação ou a presença de detritos também são causas de restrição. Os aparelhos de apoio metálicos devem estar isentos de ferrugem, bem lubrificados e com seus chumbadores em bom estado e os aparelhos de apoio elastômeros não devem estar achatados, com faces abauladas e muito distorcidos.

6 TIPOS DE INSPEÇÃO SEGUNDO NBR 9452/2016

A norma da ABNT NBR 9452 (2016), fixa as condições exigíveis na realização de vistorias/inspeções em pontes e viadutos de concreto e na apresentação dos resultados destas vistorias. Estas aplicam-se também às obras de arte correntes de concreto. Já a norma DNIT 010/2004, que utiliza a NBR 9452 (2016), como referência normativa, também fixa as condições exigíveis para a realização de inspeções em pontes, viadutos, pontilhões e bueiros de concreto estrutural (armado e protendido), utilizados em estradas de rodagem, e na apresentação dos resultados das referidas inspeções. A diferença mais significativa entre as duas normalizações citadas é o acréscimo de um novo tipo de vistoria pela norma do DNIT. Além das inspeções

cadastral, rotineira, especial e extraordinária ela acrescenta a Inspeção Intermediária (ALVES, 2012).

As vistorias se divergem conforme a diversidade, precisão, profundidade e abrangência das informações requeridas sobre o estado de uma ponte ou viaduto, podem-se aplicar diferentes tipos de inspeção, cuja distinção principal é feita por: Quantidade e nível de detalhamento dos dados a serem levantados; Demanda de recursos e equipamentos para acesso e ensaio da estrutura; Prazo de execução dos serviços de campo e escritório, qualificação da equipe de inspeção. (EUA, 1993).

6.1 INSPEÇÃO CADASTRAL

Trata-se de uma vistoria de referência, quando são anotados os principais elementos relacionados à segurança e durabilidade da obra. Este tipo de vistoria é complementado com o levantamento dos principais documentos e informes construtivos da obra vistoriada. (NBR 9452, 2016). Levantamento realizado em uma OAE nova ou existente com a finalidade de coletar dados cadastrais sobre a geometria, condições de implantação e estado funcional, estrutural e de durabilidade. Trata-se de uma investigação expedita prioritariamente visual, de abordagem geral e pouco aprofundada. Os resultados de uma vistoria cadastral constituem as primeiras informações que comporão o banco de dados do Sistema de Gerenciamento de Obras de Arte Especiais (SGO) de uma rodovia ou ferrovia. Tais resultados podem também apontar a necessidade de uma inspeção mais detalhada ou de intervenções emergenciais. (MITRE, 2005).

Segundo a (NBR 9452/2016), a inspeção cadastral deve conter: as informações sobre o roteiro básico, registro fotográfico, desenhos esquematizados da planta do tabuleiro e das seções transversais e longitudinal, a classificação da OAE e demais informações consideradas importantes para a inspeção.

A Inspeção Cadastral é a primeira inspeção que se realiza em uma ponte e, preferencialmente ou mesmo, obrigatoriamente, logo após sua construção, quando ainda se encontram disponíveis os elementos de projeto e os relatórios da fiscalização ou supervisão, que devem conter todos os informes construtivos (DNIT, 2004b). Ainda, segundo a mesma norma, trata-se de uma inspeção fartamente documentada que servirá de referência para todas as inspeções posteriores.

6.2 INSPEÇÃO ROTINEIRA

De acordo com a NBR9452/2016, a inspeção rotineira é uma vistoria destinada a manter atualizado o cadastro da obra, devendo ser realizada a intervalos de tempo regulares não superior a um ano. Esta vistoria também pode ser motivada por ocorrências excepcionais.

Segundo MITRE (2005), a inspeção rotineira acontece através de uma observação visual expedita realizada com maior frequência para verificar eventuais alterações em relação à última inspeção realizada, permitindo a atualização do banco de dados do SGO. Esta inspeção pode também permitir a alteração da classificação do estado da obra ou alertar para a necessidade de execução de uma inspeção mais detalhada ou de medidas emergenciais em casos de dano severo ou acidente.

Segundo a (NBR 9452/2016), a inspeção cadastral deve conter: introdução contendo informações básicas como rodovia e trecho inspecionado, a classificação da OAE, comentário quanto a eventuais alterações do estado geral da OAE detectadas em relação a inspeção anterior, ficha de inspeção rotineira com registro de anomalias, registro fotográfico e demais informações consideradas.

A Norma DNIT 010/2004 (2004), propõe um intervalo mais extenso entre as inspeções, habitualmente de dois anos, nessas inspeções deve ser verificada visualmente a evolução de falhas detectadas em inspeção anterior, bem como anotados novos defeitos e ocorrências, tais como reparos, reforços, recuperações e qualquer modificação de projeto, realizadas no período. Não existindo ou não tendo sido localizada a inspeção cadastral, a primeira inspeção rotineira deve ser transformada em inspeção cadastral.

6.3 INSPEÇÃO ESPECIAL

A inspeção especial compreende por uma vistoria pormenorizada da obra, visual e/ou instrumental, realizada por engenheiro especialista, com a finalidade de interpretar e avaliar ocorrências danosas detectadas pela vistoria rotineira. (NBR 9452, 2016). Através de estudos detalhados que geralmente envolvem a realização de ensaios e medições sobre a estrutura visando à obtenção de informações necessárias à recuperação dos danos e anomalias existentes. Conforme o tipo de

informações requeridas, selecionam-se os mais adequados métodos de ensaio e planos de amostragem. (MITRE, 2005).

A Inspeção Especial deverá ser efetuada em intervalos máximos de cinco anos, em todas as pontes consideradas excepcionais, pelo seu porte, pelo seu sistema estrutural ou pelo seu comportamento problemático, ou sempre que julgado necessário por uma Inspeção Rotineira, em qualquer obra (DNIT,2004b).

A inspeção especial deve ser feita antecipada quando: a inspeção anterior indicar uma classificação de intervenção em curto prazo nos seus parâmetros de desempenho estrutural e de durabilidade ou forem previstas adequações de grande porte, como alargamentos, prolongamentos, reforços e elevação de classe portante.

FIGURA 22 – Ausência de Inspeção e Manutenção em ponte.



FONTE: Portal Agora (2018).

FIGURA 23 – Dano estrutural em viaduto.



FONTE: G1 (2018).

6.4 INSPEÇÃO EXTRAORDINÁRIA

Inspeção Extraordinária é uma inspeção não programada, solicitada para avaliar um dano estrutural excepcional, causado pelo homem ou pela natureza (DNIT 2004a). A normativa vigente descreve que a inspeção extraordinária é uma inspeção não programada. Ela ocorre quando acontecem danos estruturais (Figura 22 e 23), repentinos como acidentes por grandes impactos, inundações, vendaval, sismos e outros. Nesta inspeção deve apresentar um relatório específico com descrições da obra e identificação das anomalias, incluindo o mapeamento, documentação fotográfica e terapia recomendada (NBR 9452, 2016).

6.5 CRITÉRIOS DE CLASSIFICAÇÃO DE OBRAS DE ARTE

A NBR 9452, apresenta uma classificação da condição da obra de arte. Esta classificação serve como parâmetro das condições em que a obra se encontra para inspeção rotineira e cadastral. Os critérios servem para classificar a situação da obra e se baseiam nos parâmetros estruturais, funcionais e de durabilidade. Esta classificação tem uma avaliação que deve pontuar de 1 a 5 a obra de arte, refletindo a maior ou menor gravidade dos problemas detectados (SILVA, 2016).

O Quadro 1, representa e correlaciona as notas com as condições que estrutura se encontra segundo os parâmetros estruturais, funcionais e de durabilidade.

QUADRO 1 – Classificação das condições da OAE segundo NBR-9452.

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 apresentasse 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 comprometam sua vida útil, em região de alta agressividade ambiental.
1	Crítica	Há danos que geram grave insuficiência estrutural na OAE. Há elementos estruturais em estado crítico, com risco tangível de colapso estrutural. A OAE necessita intervenção imediata, podendo ser necessária restrição de carga, interdição total ou parcial ao tráfego, escoramento provisório e associada instrumentação, ou não.	A OAE não apresenta condições funcionais de utilização.	A OAE encontra-se em elevado grau de deterioração, apontando problema já de risco estrutural e/ou funcional.

FONTE: SILVA (2016).

7 ROTEIRO PARA REALIZAÇÃO DE UMA VISTORIA SEGUNDO A NBR 9452/2016

7.1 EQUIPE DE INSPEÇÃO

A norma do DNIT (2004), estabelece requisitos mínimos de qualificação dos engenheiros responsáveis pela inspeção, estabelecendo duas categorias cujas características são similares às de engenheiro sênior e pleno. Cada categoria de engenheiro inspetor está, habilitada a realizar um tipo de inspeção (simplificada ou especial). Para os auxiliares técnicos, exige-se a formação de segundo grau completo, entre outros fatores relacionados com a produtividade dos trabalhos de campo. A norma NBR-9452 (2016) não define a qualificação mínima exigível para a equipe de inspeção. Gerente do sistema de inspeção: engenheiro civil sênior, com ampla experiência e conhecimento das questões relacionadas ao projeto, inspeção e manutenção de OAEs. Engenheiro responsável pelos serviços de campo e/ou escritório: engenheiro civil pleno, com suficiente experiência e conhecimento das questões relacionadas com projeto, inspeção e manutenção de OAEs. Auxiliares técnicos: profissionais com formação mínima de técnico em edificações, conhecimento, experiência prática, habilidade e suficiente produtividade nos trabalhos de campo. (MITRE, 2005).

Segundo Boletim 192 do CEB (1989), um engenheiro cuja formação e experiência não o habilitem a inspecionar com suficiente perícia uma estrutura tenderá a tomar medidas extremamente conservadoras e/ou precipitadas que invariavelmente resultam em soluções de intervenção antieconômicas, ineficazes ou até perigosas quanto à segurança estrutural e funcional. Este Boletim ainda afirma que mesmo dispondo de manuais, normas, resultados de ensaios e outras ferramentas e informações, o engenheiro tem, em todos os momentos, a responsabilidade de avaliar, ponderar e julgar os dados de que dispõe para produzir um parecer técnico correto e abrangente que gere uma intervenção segura, eficaz e econômica

Segundo o manual da AASHTO (1998), para assegurar a confiabilidade e a consistência das inspeções, classificação das condições de operação e recomendações de manutenção de um conjunto de OAEs, os órgãos gestores devem exigir das empresas ou equipes responsáveis pelas inspeções medidas de controle das atividades de campo e escritório tais como: uso de listas de verificação (check

lists) para obter relatórios uniformes e completos, supervisão e revisão dos documentos gerados em campo e escritório por um elemento externo à equipe (avaliação crítica de terceiros) e treinamento e certificação periódica das equipes de inspeção.

7.2 INSPEÇÃO DA OBRA

De acordo com NBR 9452/2016, a vistoria deve ser realizada de modo a atender as seguintes etapas: inspeção da obra, análise do projeto original e das modificações, se for o caso), relatório final.

A inspeção da obra trata-se de detalhada inspeção da ponte, com minuciosa observação de todas as suas partes. Nessa ocasião deverão ser feitas todas as anotações com base no roteiro adotado, de modo que não escape qualquer detalhe que possa ser útil para a interpretação do comportamento da estrutura, bem como do diagnóstico a ser emitido no relatório final da vistoria, nessa ocasião deverão ser feitas as fotografias que irão compor o relatório e que terão importante papel na elucidação das anomalias porventura existentes na obra. A sequência de inspeção deverá compreender a análise da infraestrutura (fundações), da mesoestrutura (pilares, encontros, aparelhos de apoio), da superestrutura (vigamento, lajes, cortinas, etc.), dos acabamentos (guarda-corpo, pavimentação, sinalização) e dos acessos. (VITÓRIO, 2006).

O roteiro deve seguir a sequência de inspeção, analisando as principais partes da obra corresponde à infraestrutura, mesoestrutura, superestrutura, acabamentos e aos acessos. O (Quadro 2), representa estes elementos e o que deve ser analisado de acordo com o estudo de Vitório (2006).

7.3 RELATÓRIO FINAL DA INSPEÇÃO

O relatório final representa a última etapa da vistoria, devendo, portanto, para atender à sua finalidade, ser objetivo e apresentado em linguagem técnica adequada, com disposição racional de textos e ilustrações. Devem ser evitados parágrafos longos que possam parecer inconclusivos e de difícil interpretação, devem ser feitas apenas as considerações que não suscitem qualquer dúvida de natureza técnica e

que estejam respaldadas por observações e conceituações evidentes, além de amparadas pela literatura existente sobre o tema. Afinal, este documento passará a representar o diagnóstico sobre o comportamento atual da obra e será o principal indicador para definir os tipos de futuras intervenções que deverá receber, seja de recuperação, de reforço, de alargamento, ou até de demolição. O texto também servirá de referência para os casos de demanda judicial envolvendo a obra vistoriada.

A NBR 9452/2016, recomenda os seguintes itens para o relatório final de vistoria: índice, introdução, relatórios preliminares, fichas cadastrais e rotineiras, registros das observações de campo, relatório técnico complementar (análise, estudos estruturais, hidrológicos ou geotécnicos, instrumentações, provas de carga, etc.), parecer final, recomendações e bibliografia conforme (Quadro 2).

QUADRO 2 – Roteiro de análise em cada elemento de uma ponte.

Elementos	ANALISAR
Infraestrutura	• Tipo de fundação adotada
	• No caso de fundações em estacas, verificar o estado de conservação dos blocos, vigas de amarração e das próprias estacas, descrevendo se estão expostas, partidas ou com corrosão, no caso de perfis metálicos;
	• Características do terreno de fundação, ocorrência de erosão, empuxos de terra ou de água, condições dos taludes das cabeceiras, tipo e condições da proteção adotada;
	• Avaliação do processo construtivo adotado, indicando a qualidade de execução.
Mesoestrutura	• Tipo estrutural, geometrias e materiais adotados;
	• Condições atuais (prumo, alinhamento, fissuras, trincas, infiltração d'água, umidade, falhas de concretagem, cobrimento e exposição das armaduras);
	• Sistema de drenagem (funcionamento dos drenos e barbacãs, água acumulada no encontro);
	• Contenção das terras (atuação dos empuxos de terras sobre as diversas paredes, fugas de aterro, solapamento / descalçamento das fundações, ação de enchentes sobre aterros);
	• No caso das pontes com extremidades em balanço, observar as condições das cortinas, alas laterais e placas de transição. Verificar a ocorrência de deslizamento de terras dos aterros de acesso sob as cortinas;
	• No caso de encontros de grande altura, implantados em encosta ou meia encosta, verificar a possibilidade de ruptura do maciço, bem como de deslizamento ou tombamento.

Elementos	ANALISAR
Superestrutura	• Sistema estrutural
	• Material empregado (concreto armado, concreto protendido, estrutura mista, metálica, de madeira);
	• Número de vãos, especificando dimensões de cada um, comprimento total da obra, largura da pista de rolamento, dos passeios e demais peças da plataforma;
	• Definição das dimensões das peças examinadas como comprimento, altura, largura, se seção cheia ou vazada, etc;
	• Exame detalhado das vigas principais, transversinas, cortinas, lajes centrais, lajes em balanço, lajes inferiores (tabuleiros celulares) e dentes, visando definir as condições atuais do concreto, das armaduras e do cobrimento;
	• Verificação da ocorrência de alguma anomalia (fissuras ou trincas, infiltração, corrosão da armadura, deterioração do concreto etc.), sempre possível, as suas causas;
Acabamentos	• Análise do estado dos guarda-corpos, registrando a necessidade de substituição ou reparos;
	• Verificação da ocorrência de danos na pavimentação asfáltica ou de concreto sobre a ponte;
	• Análise da vedação, fixação e desgaste das juntas de dilatação do tabuleiro;
	• Análise do sistema de drenagem (insuficiência e/ou obstrução de drenos, declividade insuficiente, empoçamento e infiltração de água no tabuleiro);
	• Verificação de desgaste nos guarda-rodas e nos passeios de pedestres;
	• Observação de falhas e/ou ausência do sistema de sinalização.
Acessos	• Ocorrência de desníveis entre a ponte e o aterro de acesso (indicativo de ausência de placa de transição);
	• Abatimentos e trincas no pavimento sobre os aterros;
	• Situação dos taludes dos aterros (ocorrência de erosão, tipo de proteção, canaletas de drenagem, etc.);
	• Ocorrência de erosão no maciço, comprometendo a faixa de rolamento;
	• Existência ou não de acostamento;
	• Existência ou não de sinalização;
	• Condições do sistema de sinalização dos acessos.

FONTE: SILVA (2016).

8 TIPOS DE INSPEÇÃO DE ACORDO COM A LITERATURA INTERNACIONAL

De acordo com Radomski (2002), a vistoria de pontes e viadutos é necessária como parte do programa de manutenção e de avaliação das condições técnicas dessas estruturas. A administração de estradas e ferrovias, em diversos países, estabelece os procedimentos referentes a vistoria de pontes e de viadutos, que podem ser diferentes, dependendo das condições ambientais e das técnicas empregadas. De modo geral, as instruções sobre vistorias de pontes e viadutos seguem um roteiro como: vistoria de curso, vistoria básica, vistoria detalhada, vistoria especial.

Raina (1996), considera que há três tipos de inspeção: a rotineira, a detalhada e a especial. Já segundo a FIB (2002), as inspeções dividem-se em duas grandes categorias: as inspeções "ad hoc", e as inspeções integradas em Sistemas de Gerência e Manutenção (SGM).

Radomski (2002), afirma que a vistoria de curso pode indicar a necessidade de manutenção usual, como pequenos reparos no pavimento ou em juntas de expansão. Esse tipo de vistoria é limitado a um controle superficial da ponte ou viaduto, sem interferir em elementos da superestrutura. A vistoria de curso é geralmente realizada de forma visual, e seus resultados podem levar a proposta de um plano de manutenção. Na vistoria detalhada verificam-se elementos como a condição de colunas e limites da ponte ou viaduto, bem como suas fundações.

As inspeções especiais tanto podem ser de engenharia ou de pesquisa. A equipe de inspeção, geralmente é formada por especialistas, e equipada com ferramentas de medidas, de detecção e monitoração. Em alguns casos, este tipo de vistoria é realizado para se determinar a margem de segurança da estrutura e para controlar ou adequar o modelo de concepção teórico da ponte ou viaduto ao seu real comportamento com relação ao do peso do tráfego, e se determinar as características dos materiais atuais com relação ao tipo e nível de deterioração.(RADOMSKI,2002).

A vistoria rotineira é uma vistoria geral, realizada rapidamente e frequentemente por engenheiros de manutenção de estradas, dotado de conhecimento prático razoável de estruturas. Em alguns casos haverá necessidade de pessoal com conhecimento especializado em detalhes de projetos ou em problemas especiais de construção de pontes ou viadutos. A finalidade da vistoria rotineira é a de relatar as deficiências óbvias, que possam causar problemas ou

acidentes futuros, com objetivo de realizar reparos ou manutenção. As inspeções rotineiras devem ter uma frequência mensais. (RAINA,1996).

A vistoria detalhada, divide-se em duas categorias: uma geral e outra principal, de acordo com a frequência e a intensidade respectiva de inspeção. A vistoria geral deve ser realizada a intervalos anuais tipo de vistoria e visual, podendo ser utilizado equipamentos padrões. O relatório da vistoria informa as condições da ponte ou viaduto em suas diferentes partes. A vistoria principal, de acordo com Raina (1996) deve ser mais intensa que a geral e requer exames mais detalhados dos diferentes elementos da estrutura da obra, podendo requerer equipamentos especiais, como plataformas de acesso. Esse tipo de vistoria dependera da importância da estrutura e deve ter uma frequência entre 2 a 3 anos. (RAINA,1996).

A vistoria especial, conforme Raina (1996), deve ser realizada em ocasiões especiais, quando ocorrem problemas graves como terremotos, passagem de carregamentos extremos, inundações ou outro fenômeno ambiental imprevisto, ou ocorrência de acidentes graves no local. Esse tipo de vistoria deve ser complementado com testes, análises estruturais. Os profissionais da equipe devem ser especialistas, inclusive contando com engenheiro projetista estrutural de pontes e viadutos, experiente.

As inspeções "ad hoc", segundo o FIB (2002), são realizadas irregularmente, ligadas a ocorrência de um evento não diretamente relacionadas a condição e performance da estrutura, como compra, venda, troca de usuário, troca de função inspeção de instalações e utilidades, realizada em casas e prédios e eventualmente em estruturas externas expostas a ambiente mais agressivo.

As Inspeções de Sistemas de Gerência e Manutenção (SGM), subdividem-se em inspeções superficiais, inspeções de rotina e investigações detalhadas, realizadas em obras de grande complexidade e normalmente descritas detalhadamente em manuais.

As inspeções superficiais, são visuais, e tem por finalidade identificar defeitos sérios e repentinos relacionados tanto a função como a segurança da estrutura, não sendo realizadas per engenheiros estruturais. As inspeções de rotina ou gerais/principais são sistemáticas, regulares, realizadas par profissionais competentes (engenheiros estruturais), com finalidade de avaliar visualmente a condição de os elementos da estrutura, a taxa de deterioração e verificar a necessidade de reparo ou de investigações mais detalhadas. (FIB,2002).

8.1 INSPEÇÃO SUBMERSA

No Brasil, o DNIT realizou estudos sobre inspeção submersa indicando procedimentos a serem seguidos pelos inspetores. Recomenda-se que se faça uma investigação de discontinuidades significativas e de deterioração pronunciada na infraestrutura e no leito do rio e nas proximidades da obra, principalmente realizando uma limpeza na área a ser inspecionada. A norma NBR 9452/2016, não considera este tipo de vistoria em pontes e viadutos, prevendo procedimentos para a realização apenas dos três tipos básicos.

De acordo (DNER 2005), a escolha do método de inspeção submersa depende da altura do nível d'água, da visibilidade proporcionada pela água, da velocidade da correnteza, das condições do leito do rio, das matérias flutuantes e da configuração da infraestrutura (Figura 24). Também são importantes as condições do leito do rio, o qual pode apresentar-se com lama, muito mole, ou com rochas escorregadias.

Raina (1996), destaca que este tipo de inspeção é muito importante, principalmente em pontes marítimas, ou em locais sujeitos a condições específicas, como poluição, ou risco elevado de acidentes com embarcações.

Para a realização desse tipo de inspeção o DNIT (2004), recomenda padrões utilizados pela marinha norte-americana e pela indústria de plataformas de petróleo, em três diferentes níveis, desde o nível, em águas rasas obtendo-se dados visuais e tátil, ao nível III, em profundidade, mais detalhada e utilizando os testes não destrutivos. (GHEUR,2007).

FIGURA 24 – Inspeção subaquática.



FONTE: AD Fiducia (2014).

As inspeções em águas rasas, ou seja, onde a lâmina de água for inferior a 1 m, podem ser realizadas pela mesma equipe que inspeciona a ponte, pois não são necessárias equipes ou equipamentos especiais. Geralmente as botas de borracha usadas conjuntamente com roupas impermeáveis, um bastão comprido, resistente e com referências métricas, e eventualmente um pequeno bote, são suficientes para avaliação da infraestrutura da ponte e do leito do rio. Já no caso de inspeções em águas profundas as inspeções em águas profundas necessitam de equipes e equipamentos especiais. As equipes utilizam equipamentos de mergulho que carregam o ar necessário em reservatórios presos às suas costas. Para inspeções em condições adversas, como por exemplo inspeções em águas poluídas, águas com grande velocidade da correnteza, de até 4 m/s, ou de longa duração, as inspeções devem ser feitas com escafandro, dependentes do suprimento externo do ar. Tanto as inspeções com escafandro como as com equipamento de mergulho devem ficar limitadas ao máximo de 30 m de profundidade.(DNER, 2005).

9 AMBIENTE E MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS

As diversas manifestações patológicas e suas velocidades de degradação apresentadas pelas OAEs têm suas origens não só na falta de manutenção e conservação adequadas das estruturas, mas também nas características do entorno dessas obras. O meio ambiente ao redor de uma estrutura exerce forte influência sobre o comportamento dessa estrutura no que diz respeito à durabilidade dos materiais empregados na sua construção e/ou recuperação. O meio ao redor de cada OAE possui características específicas, com fatores ambientais específicos para cada caso, que podem até mesmo influenciar de forma negativa a vida útil da estrutura. O meio ambiente onde se insere uma estrutura deve ser considerado não só quando se realizam avaliações sobre as causas da degradação dessa estrutura, mas também nos processos de manutenção e recuperação da mesma. (LENCIONI, 2005).

Ambientes agressivos são extremamente nocivos ao concreto armado por provocarem o surgimento de manifestações patológicas, que podem levar a estrutura à ruína se não forem controladas e solucionadas a tempo. A principal solução para evitar esses problemas é a realização de inspeções rotineiras e manutenções preventivas nas estruturas para detectar e evitar o desenvolvimento precoce de ações

deletérias, e que ao mesmo tempo busquem as causas das manifestações patológicas.

As obras de engenharia civil no decorrer de sua vida útil interagem com o meio ambiente e diferentes solicitações, sofrendo degradação e apresentando anomalias nas estruturas de concreto armado. Tais anomalias estão ligadas diretamente à vida útil e a durabilidade da estrutura. (SILVA, 2016). Quando se considera a vida de serviço de uma estrutura de concreto, as condições ambientais sob as quais essa estrutura está exposta são tão importantes quanto suas propriedades mecânicas. Temperatura, umidade relativa, vento, poluição, agressividade da água, entre outros, são fatores que influenciam na degradação das estruturas de concreto (Figura 25). (LENCIONI, 2005).

FIGURA 25 – Deterioração de estrutura exposta ao ambiente agressivo.



FONTE: G1(2019).

O conceito de vida útil do concreto pode ser entendido como o período de tempo em que a estrutura é capaz de manter suas características sem a necessidade de uma intervenção, conforme a ABNT NBR 6118/2014. Os projetos têm requisitos de uso e manutenção prescritos pelo projetista e pelo construtor. Tais prescrições devem ser seguidas para que a vida da estrutura não seja afetada. Portanto, durabilidade não é uma propriedade intrínseca dos materiais, mas uma função relacionada ao desempenho do material durante seu uso sob determinadas condições ambientais. Os dados à classe de agressividade ambiental, resistência e cobrimento do concreto nas (Tabelas 1,2 e 3) respectivamente.

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
II	Moderada	Submersa	Pequeno
III	Forte	Urbana ^{a, b}	Grande
IV	Muito forte	Marinha ^a	Elevado
		Industrial ^{a, b}	
		Industrial ^{a, c}	
		Respingos de maré	

FONTE: NBR 6118 (2014).

TABELA 2 – Correspondência entre a classe de agressividade e qualidade do concreto.

Concreto ^a	Tipo ^{b, c}	Classe de agressividade			
		I	II	III	IV
Relação água/cimento em massa	CA	≤ 0,65	≤ 0,60	≤ 0,55	≤ 0,45
	CP	≤ 0,60	≤ 0,55	≤ 0,50	≤ 0,45
Classe de concreto (ABNT NBR 8953)	CA	≥ C20	≥ C25	≥ C30	≥ C40
	CP	≥ C25	≥ C30	≥ C35	≥ C40

FONTE: NBR 6118 (2014).

TABELA 3 – Correspondência entre a classe de agressividade e o cobrimento nominal para $\Delta c = 10\text{mm}$.

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

FONTE: NBR 6118 (2014).

9.1 FISSURAS

As Manifestações patológicas nas estruturas de concreto são evidenciadas por trincas, fissuras e corrosão de armações de vários tipos; as trincas e fissuras são comuns nas estruturas de concreto e são resultantes da fragilidade do concreto, material não resistente à tração e que colapsa repentina e explosivamente.

De uma forma geral, a norma ABNT NBR6118/2014, define como limite de abertura para as fissuras de uma estrutura de concreto o valor de 0,4mm, considerando a proteção das armaduras e a durabilidade da estrutura. Conforme o manual técnico ABECE as dimensões da abertura das fissuras determinam um nível de alerta. As aberturas entre 0,05mm a 0,3mm são consideradas normais, entre 0,3 a 0,7mm considerada de atenção de risco e maiores que 0,7mm considerasse nível crítico (Figura 26). (CARMONA, 2005).

As fissuras em estruturas de concreto podem manifestar-se após anos, semanas, dias ou até mesmo horas, podendo ser provocadas por múltiplas causas. Distinguem-se não só pela idade de aparição, mas também pela sua forma e trajetória, abertura, movimento etc. Além de afetar esteticamente as estruturas e oferecer uma sensação de insegurança aos seus usuários, as fissuras facilitam o ingresso de agentes químicos que degradam ou agravam o processo de degradação do concreto. (CÁNOVAS,1988).

FIGURA 26 – Medição de fissuras.



FONTE: Furofix (2017).

A manifestação de fissuras é indício de que a estrutura perde sua durabilidade e o nível de segurança, comprometendo sua utilização tanto na redução de sua vida útil quanto no prejuízo ao seu funcionamento e estética, podendo causar a corrosão da armadura, quando estas se encontram em ambiente agressivo (CARMONA, 2005).

9.2 CORROSÃO DE ARMADURAS

O processo de corrosão em geral é acompanhado por um aumento de volume responsável pelo surgimento de fissuras e expansão da corrosão (Figura 27). Com o tempo esse processo leva ao destacamento do concreto de recobrimento. A corrosão de armaduras pode ser classificada como corrosão generalizada e puntiforme e pode se manifestar através de reação química ou eletroquímica. (SILVA, 2016).

A água geralmente está presente na maioria dos casos de deterioração de estruturas de concreto, a facilidade com que penetra nos sólidos porosos determina a taxa de deterioração. Outros efeitos que influenciam a durabilidade do concreto são: o desgaste das superfícies, Fissurações, exposição a temperaturas extremas, congelamento ou fogo e efeitos químicos. (BASTOS, 2017).

FIGURA 27 – Corrosão de armaduras.



FONTE: Gênova (2015).

Segundo Vitório (2005), fatores como a porosidade do concreto, a existência de trincas e a deficiência no cobrimento são responsáveis pela oxidação da armadura, quando esta é atingida por elementos agressivos. A parte que sofre oxidação tem seu volume aumentado em 8 vezes, e a força da expansão expelle o concreto do

cobrimento, deixando a armadura totalmente exposta à ação agressiva do meio. A continuidade desse fenômeno acarreta a total destruição da armação.

Entre as anomalias responsáveis pela corrosão duas se destacam: são a carbonatação e ataques dos cloretos. Em ambientes agressivos deve-se tomar o maior cuidado, por esses motivos nas normas a espessura de recobrimento da armadura varia, dependendo do ambiente e tipo de estrutura ou de elemento estrutural.

9.3 DESAGREGAÇÃO

A desagregação do concreto é um fenômeno que ocorre quando não há uma mistura homogênea do concreto e resulta no acúmulo ou na falta de um tipo de agregado é decorrente de falhas na execução (Figura 28). Outro fator patológico é a desagregação, que é a deterioração do concreto por separação de suas partes, provocada, em geral, pela expansão devida à oxidação ou dilatação das armaduras, pelo aumento de volume de concreto quando este absorve água, e também pelas aberturas insuficientes das juntas de dilatação, gerando tensões tangenciais não previstas. Pode ocorrer também devido às movimentações estruturais e choques na estrutura. (LANER, 2001).

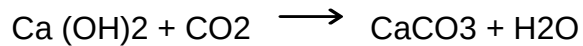
FIGURA 28 – Desagregação do concreto.



FONTE: Pinheiro (2018).

9.4 CARBONATAÇÃO

A carbonatação é basicamente uma reação entre o dióxido de carbono (CO₂) do ar e o hidróxido de cálcio resultante da hidratação do cimento, produzindo o carbonato de cálcio. (Figura 29).



A ação do CO₂ sobre o concreto é complexa porque não se limita ao hidróxido de cálcio. O dióxido de carbono ataca também todos os produtos da hidratação do cimento. A reação mais comum e importante é a que acontece com hidróxido de cálcio o desaparecimento do hidróxido de cálcio do interior dos poros da pasta de cimento hidratada e sua transformação em carbonato de cálcio faz baixar o pH da solução de 12,5 para 9,4, fator importante para início da corrosão das armaduras. (SILVA, 2016).

A frente de carbonatação costuma ser medida através do uso de indicadores químicos. Segundo Lencioni, a fenolftaleína é o indicador mais adequado essa solução, quando em contato com o concreto, apresenta-se incolor para valores de pH inferiores a 8,3; para valores de pH superiores a 9,5, torna-se vermelho-carmim; para pH entre 8 e 9,5, apresenta-se com coloração variável entre rosa e vermelho-carmim.

FIGURA 29 – Carbonatação no concreto.

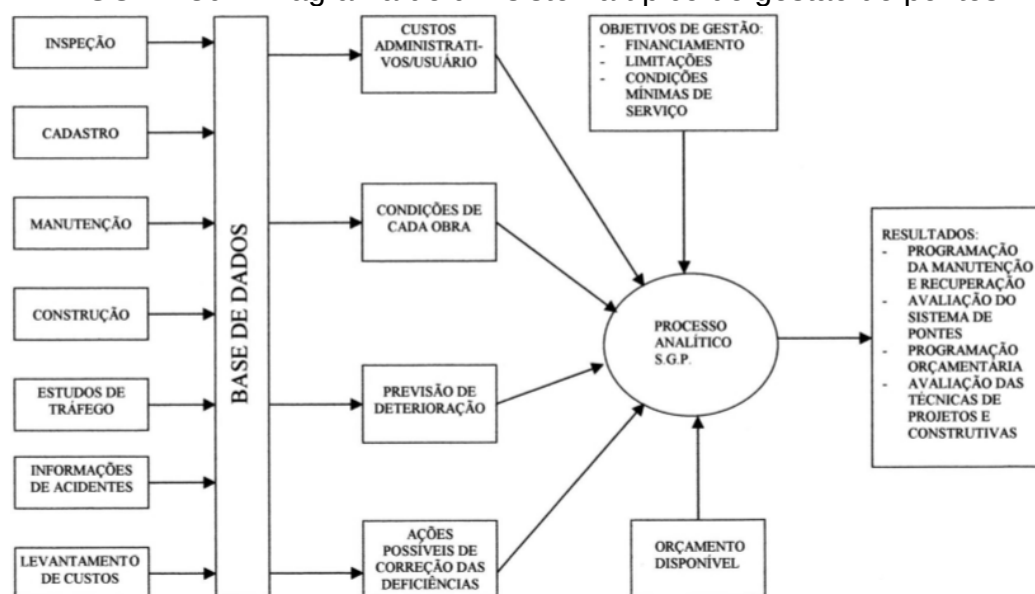


FONTE: Perícia engenharia (2018).

10 GESTÃO DE PONTES

Existe um costume, bastante habitual, de considerar que a vida das pontes é extraordinariamente longa, talvez até infinita. Isso se deve, em parte, à impressão que, de modo geral, é transmitida por esse tipo de obra, sempre associada à robustez e solidez, enfim, uma estrutura quase eterna. A realidade mostra, porém, que uma ponte, como qualquer outra edificação, começa a deteriorar-se no mesmo instante em que é posta em funcionamento, iniciando um ciclo de vida cuja duração dependerá de diversos fatores relacionados com as condições de uso e conservação ao longo do tempo, de modo a garantir-lhe segurança, funcionalidade e durabilidade com o menor custo possível.(VITÓRIO, 2006).

FIGURA 30 – Diagrama de um sistema típico de gestão de pontes.



FONTE: VITÓRIO (2006).

Um sistema de gestão de pontes representa um instrumento de fundamental importância, pelo fato de permitir decisões rápidas e eficazes baseadas em parâmetros técnicos e científicos voltados para a otimização do funcionamento e dos custos de manutenção desses importantes patrimônios públicos. Uma gestão de pontes eficaz deverá basear-se em um rigoroso cadastro de todas as obras nos trechos de sua jurisdição e num programa de vistorias sistemáticas. Deverá, ainda, incluir diversas atividades técnicas, organizacionais e administrativas com o objetivo de instruir e pôr em prática uma política que contemple a conservação, a recuperação, a ampliação e a substituição de obras. (VITÓRIO, 2005).

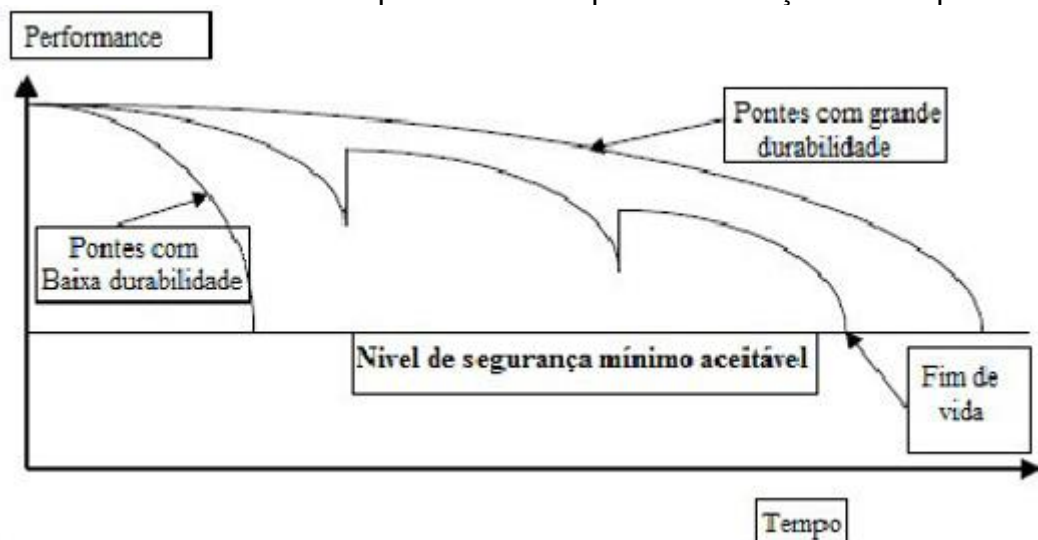
De acordo com Vitório (2006), a eficácia de um sistema de gestão (Figura 30) dependerá da interação das seguintes atividades:

- a) Desenvolvimento de um arquivo de dados;
- b) Atualização permanente das informações cadastrais;
- c) Utilização dos dados obtidos para identificar os tipos de intervenção por obra, quando serão feitas e estimativas de custo.

Segundo Almeida (2013), um sistema de gestão de obras de arte consiste basicamente em montar uma estratégia de preservação conciliando o aumento da vida útil e dos componentes da estrutura sem grande custo para manutenção conforme (Figura 31) O sistema de gestão de obras em geral tem as seguintes funções:

- Analisar a situação em que se encontram as obras de arte;
- Otimizar a manutenção;
- Diminuir o custo da manutenção;
- Melhorar o aproveitamento do tempo de vida útil da estrutura;
- Garantir a segurança dos utilizadores;
- Garantir níveis suficientes de qualidade e serviço.

FIGURA 31 – Desempenho de uma ponte em função do tempo.



FONTE: SILVA (2006).

As curvas em formato convexo presentes no gráfico representam a deterioração da estrutura pelas ações atuantes durante um período de tempo. As três linhas têm o objetivo de demonstrar a diferença entre desempenho obtido pelas pontes que tiveram planejamento adequado para a durabilidade e as que não tiveram.

11 ESTUDO DE CASO

11.1 PONTE COSTA E SILVA (IGAPÓ)

Inicialmente foi realizada vistoria técnica em que se detectou os possíveis sintomas patológicos existentes nos elementos constituintes do complexo de pontes, podendo assim fazer uma análise de suas possíveis causas, tomando como parâmetro os ensaios realizados por Pereira (2018) e a Vistoria realizada pela empresa Maia Melo Engenharia. O complexo de pontes que formam a ponte sobre o rio Potengi no bairro do Igapó (Figura 32), em Natal/RN é composto de um sistema onde se encontram duas pontes: a primeira trata-se de uma ponte rodoviária construída em 1970 com o trilho ferroviário, a vedação, o passeio e duas faixas de tráfego. A segunda em 1985 esta ponte foi duplicada onde foi implantado o canteiro central e mais 2 faixas de tráfego e passeio.

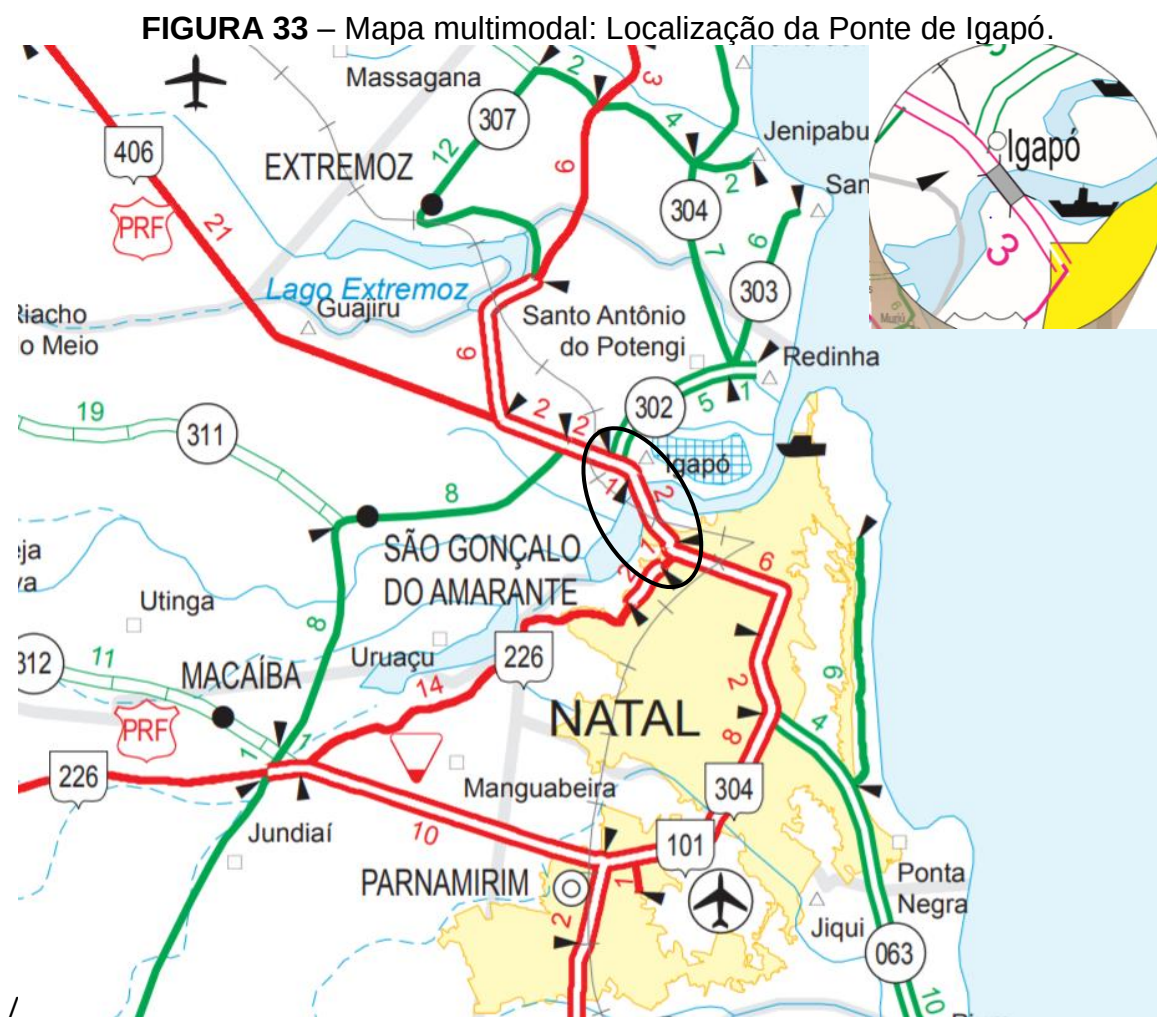
FIGURA 32 – Vista de Localização da ponte de Costa e Silva.



FONTE: Google Maps (2019).

A primeira ponte de Igapó foi construída em 1970 trata-se da primeira ponte rodoviária do estado, em concreto armado, tendo um trem-tipo de 45 t originalmente com os seguintes elementos: A infraestrutura e a mesoestrutura composta de 16 pilares parede. Os pilares e encontros estão assentados em blocos de estacas metálicas constituídos pela associação de 3 trilhos ferroviários tipo TR - 32 soldados cravadas por bate-estacas com proteção do trecho submerso com tubos metálicos preenchidos de concreto desde o leito do rio até os blocos de coroamento.

As estacas são distribuídas em número de 28 para cada bloco e são dotadas de camisa metálica de $\frac{1}{4}$ " espessura e diâmetro de 40cm, até uma profundidade de 36 m, sendo a resistência à compressão do concreto igual a 18 Mpa para a infraestrutura, 24 Mpa para o tabuleiro rodoviário. O tabuleiro constituído por 4 de vigas pré-moldadas protendidas sem utilização de escoramento direto, sendo 25 vãos isostáticos.



FONTE: DNIT (2013).

Com o aumento do tráfego rodoviário e desativação da ponte metálica exigiu-se a execução da segunda ponte de Igapó justaposta ao existente, garantindo a implantação de mais duas faixas de tráfego (Figura 33), bem como, de um tabuleiro ferroviário independente, disposto ao lado deste, na proximidade da antiga ponte ferroviária.

A segunda ponte de Igapó nova, de 1988 tem seção transversal de 12,20m de largura e 586,6m de comprimento, divididos em 17 vãos. A seção transversal é

composta por 4 vigas pré-moldadas protendidas ligadas transversalmente por transversinas e por laje em concreto armado. A infraestrutura é constituída de estacas pré-moldadas de seção transversal anelar de concreto armado com seção circular vazada, com diâmetro interno de 0,30m e diâmetro externo de 0,6 m, as estacas estão distribuídas em número de 12 para cada bloco, existindo uma variação de locação em alguns blocos com profundidade de 25 m, executadas com concreto centrifugado totalizando 288 estacas, cravadas com bate-estacas. A mesoestrutura é formada por pilares parede em concreto armado, sendo um por apoio, que recebem diretamente o carregamento das vigas.

A infraestrutura é composta por 16 pilares. Os pilares e encontros estão assentados em blocos e em estacas circulares de concreto. A superestrutura também foi em vigas pré-moldadas protendidas executadas com treliças móveis, em número de seis por vão com seção em duplo tê com altura de 2 m, enquanto as vigas do tabuleiro ferroviário em número de 2 por vão, também com seção em duplo tê, tem altura de 2,40. As lajes também são protendidas diferentemente da primeira ponte de Igapó, a mesoestrutura é constituída de 16 pilares parede de concreto armado com espessura de 2,20 m com superfície superior escalonada, com o nível de apoio das vigas do tabuleiro ferroviário 0,80 m inferior ao das vigas rodoviárias. (PEREIRA, 2018).

Os aparelhos de apoio da segunda ponte de igapó, todos são de placas de neoprene e sua inauguração foi em 23/05/1988 (30 anos), tendo um trem-tipo de 36 t. A resistência à compressão do concreto para a superestrutura é de 26 Mpa e para a mesoestrutura é de 18 Mpa. (PEREIRA, 2018).

11.1.1 PILARES

Nos 16 pilares das duas OAE's vistoriadas, a principal manifestação patológica detectada foi a corrosão das armaduras. A área de variação de maré (até a metade da altura dos pilares) foi a mais afetada pela corrosão. Nesta região a oxidação está em estado avançado, apresentando deslocamentos e perdas de seção significativa, principalmente nos pilares da segunda ponte.

As demais áreas dos pilares, ou seja, regiões onde há respingos de maré há, além de deslocamentos, a presença de manchas, indicando que o processo corrosivo já se encontra instalado (Figuras 34 e 35 A e B).

FIGURA 34 – Pilar da ponte apresenta corrosão generalizada.



FONTE: Próprio autor (2018).

FIGURA 35 – Deslocamento do concreto e aço deteriorado.



A)



B)

FONTE: Próprio autor (2018).

FIGURA 36 – Perda de seção considerável do aço.



FONTE: Próprio autor (2018).

A corrosão das armaduras que ocorre nas estruturas de concreto é um processo de deterioração da fase metálica existente, que implica em progressiva perda de seção das barras de aço, conforme mostrado na (Figura 36). Ao mesmo tempo em que ocorre a perda de seção, há a formação de produtos no entorno destas placas. Estes produtos têm volume 3 a 10 vezes superiores ao volume original do aço da armadura. Isto pode causar tensões internas de tração de até 15 MPa.

As fissuras obtidas devido aos esforços de tração internos são paralelas às barras corroídas e, uma vez que suas aberturas aumentam com o tempo, podemos classificá-las como fissuras ativas progressivas. A evolução do processo corrosivo, com o aumento da abertura das fissuras, acarreta o lascamento do concreto de cobertura das armaduras, comprometendo assim o monolitismo estrutural e destacamento da camada de cobertura. O referido monolitismo é dado pela aderência entre o concreto e o aço. Pode-se observar um dos pilares da estrutura nova com corrosão generalizada das suas armaduras e destacamento da camada de cobertura. Porém, a corrosão nem sempre produz fissuras e deslocamento do concreto de cobertura. Nos casos de concretos muito úmidos, os óxidos são gerados a uma velocidade constante e migram através da rede de poros, formando manchas marrom-avermelhadas na superfície do concreto.

Todo o processo descrito anteriormente ocorre quando acontece a despassivação das armaduras, o que acontece quando pelo menos uma das duas condições básicas: presença de quantidade suficiente de cloretos ou diminuição da alcalinidade do concreto, que geralmente ocorre pelas reações de carbonatação do

concreto. Os pilares estão inseridos em dois microclimas diferentes: a zona de variação e a de respingos de maré. Estas regiões são um meio de alta concentração de cloretos.

A carbonatação ocorre concomitantemente ao ataque por cloretos e somados à pouca espessura do cobrimento da armadura, em alguns, pontos propicia a instalação do processo de corrosão das armaduras.

11.1.2 APARELHOS DE APOIO

Os aparelhos de apoio das duas obras foram inspecionados visualmente. Na obra nova, os aparelhos de apoio estão assentados sobre berços de concreto e não apresentam deformações verificou-se também que as faces superiores e inferiores dos aparelhos estão totalmente em contato com a estrutura e que não houve deslocamento em relação à sua posição original (Figura 37).

FIGURA 37 – Detalhe aparelho de apoio da segunda ponte.



FONTE: Maia Melo Engenharia (2012).

Na obra antiga, foi verificado que a altura dos aparelhos de apoio é de aproximadamente 1,6cm, o que dificultou a inspeção mais aprofundada dos mesmos. Porém, foi possível detectar que os mesmos se encontram deformados com espalhamento do material, conforme (Figura 38).

FIGURA 38 – Detalhe aparelho de apoio obra antiga.



FONTE: Maia Melo Engenharia (2012).

Os aparelhos de apoio em neoprene e neoprene fretado são dimensionados levando-se em consideração: as propriedades dos materiais do aparelho, as dimensões do mesmo, os esforços atuantes e os deslocamentos impostos pela estrutura. Informações incorretas utilizadas no dimensionamento acarretam a aplicação de tensões não previstas no aparelho e consequente danificação do mesmo. Outro aspecto seria o envelhecimento precoce do Neoprene. Este envelhecimento pode ser causado por alguma substância agressiva que venha a ser carregada da pista de rolamento por meio da água de chuva.

11.1.3 DRENAGEM DEFICIENTE DO TABULEIRO

Ao longo do tabuleiro podem ser encontrados drenos mal posicionados, descarregando água do tabuleiro sobre as peças da ponte. Há uma junta longitudinal ligando as obras nova e velha, onde existe um canteiro sobre o tabuleiro. Essa junta não está vedada e possibilita o escoamento da água incidente sobre os canteiros através da superfície inferior do tabuleiro.

FIGURA 39 – Dreno posicionado sobre o talão inferior da viga e Junta com problemas de vedação.

A)



B)



FONTE: Maia Melo Engenharia (2012).

O Fluxo de água constante propicia o aparecimento de manchas escuras no concreto causadas pela contaminação por fungos, mofo, etc. Estas manchas causam a redução do pH, desagregação do concreto e corrosão das armaduras (Figura 39 A e B).

11.1.4 CORROSÃO DAS ARMADURAS DAS VIGAS

Ao longo do tabuleiro foram encontrados vários pontos com armadura aparente e corroída nas vigas. As transversinas que ligam o topo das vigas apresentam armaduras aparentes e oxidadas.

FIGURA 40 – Corrosão em viga.



FONTE: Próprio autor (2018).

FIGURA 41 – Viga e Pilar apresentam corrosão.



FONTE: Próprio autor (2018).

Em algumas vigas foi possível detectar que o processo corrosivo já ataca os cabos de protensão, com perda significativa de seção. O mecanismo de corrosão é o mesmo apresentado no item sobre Inspeção de pilares. (Figuras 40 e 41).

11.1.5 JUNTAS DE DILATAÇÃO

A obra é composta por vigas pré-moldadas formando vãos isostáticos separados por juntas preenchidas por perfis de borracha. Essas juntas não estão funcionando adequadamente, propiciando a passagem de água para as peças abaixo do tabuleiro.

O pavimento apresenta fissuras transversais exatamente sobre as juntas de dilatação do tabuleiro. Os perfis elastoméricos são utilizados como material de preenchimento das juntas de dilatação e ficam aparentes na face superior do pavimento. Como os perfis ficam expostos e sujeitos a movimentações constantes e ao tráfego, requerem manutenção periódica. Quando a manutenção não é feita de forma correta, é inevitável a falência do sistema de vedação.

Nas obras vistoriadas, foram adicionadas camadas de pavimento sobre as juntas existentes, impedindo assim o acesso às mesmas para a realização da manutenção e como a obra continua se movimentando mesmo após a aplicação do pavimento, nos locais das juntas de dilatação formaram-se trincas na superfície do pavimento (Figuras 42 e 43).

FIGURA 42 – Infiltração causada por deficiência na junta.



FONTE: Maia Melo Engenharia (2012).

FIGURA 43 – Fissura no pavimento sobre a junta.



FONTE: Maia Melo Engenharia (2012).

12 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Foram realizados por Pereira (2018), ensaios na ponte de Igapó, seguem abaixo os respectivos resultados. Probabilidade de corrosão: Foram medidos seis pontos diferentes da estrutura (pilares parede), utilizando o eletrodo de Cobre/Sulfato de Cobre se baseando pela norma ASTM-C 876. Os valores deram acima de -350mV significando uma probabilidade de corrosão de 95% nas armaduras analisadas. (-476mV , -410mV , -452mV , -365mV , -388mV , -434mV). Não foram realizados ensaios nas vigas protendidas pois não há indícios de corrosão nas mesmas. Indicando uma maior durabilidade das estruturas em concreto protendido.

QUADRO 3 – Dados do ensaio de probabilidade de corrosão.

PROBABILIDADE DE CORROSÃO	
Localização	Resultado(mV)
Pilar (Ponto 1)	-476
Pilar (Ponto 2)	-410
Pilar (Ponto 3)	-452
Pilar (Ponto 4)	-365
Pilar (Ponto 5)	-388
Pilar (Ponto 6)	-434

FONTE: Adaptado de Pereira (2018).

Profundidade de carbonatação e pH do concreto: Foram medidos vários pontos da estrutura (pilares parede e vigas protendidas) pelos indicadores fenolftaleína e lápis medidor de pH, observando-se nos pilares-parede que as estruturas apresentaram carbonatação (coloração do concreto incolor), com pH do concreto=8, obtido pelo lápis medidor de pH, indicando que o concreto dos pilares-parede não estão mais protegendo as armaduras (Figura 44). As vigas protendidas não apresentaram carbonatação, apresentando coloração rosa e pH=12. Indicando mais uma vez a maior durabilidade das estruturas em concreto protendido, justificado

principalmente pelo fato da não existência de fissuração evitando, em parte, a penetração dos agentes agressivos.

QUADRO 4 – Dados relativos ao ensaio de pH do concreto.

pH do CONCRETO	
Elemento	Resultado (pH)
LAJE C.PROTENTIDO	12
LAJE C. ARMADO	10
PILAR	6
VIGAS	12

FONTE: Adaptado de Pereira (2018).

FIGURA 44 – Presença de cloretos nos pilares.



FONTE: Pereira (2018).

Teor de cloretos: Foram feitas medidas com o nitrato de prata (aspersão) indicando tanto nos pilares parede como nas vigas protendidas a presença de manchas brancas e marrons nas superfícies aspergidas, ou seja, presença de íons de cloreto nas superfícies do concreto. Justificado pela ação das ondas, por ser zona de respingos de maré. Vale salientar que mesmo com a presença dos cloretos na superfície, nas vigas da ponte já apresentam indício de corrosão de suas armaduras, conforme a (Figura 45).

QUADRO 5 – Dados do ensaio de Indicador cloretos.

PRESENÇA DE CLORETOS	
Elemento	Resultado (pH)
LAJE C.PROTENTIDO	INCOLOR
LAJE C. ARMADO	INCOLOR
PILAR	BRANCO E MARROM
VIGAS	BRANCO E MARROM

FONTE: Adaptado de Pereira (2018).

FIGURA 45 – Ponte de igapó: Corrosão em viga.

FONTE: Próprio autor (2018).

Inspeção subaquática: Foram feitas inspeções nas fundações da Ponte(estacas), onde foi verificado a inexistência de corrosão das armaduras nas estacas pré-moldadas de concreto armado e corrosão muito acentuada nas estacas metálicas. Das estacas inspecionadas, a principal patologia detectada foi a deterioração/corrosão da parede dos tubos metálicos que as compõem e consequente infraestrutura da ponte. Os topos das estacas existentes estão inseridos em zona de variação da maré e de respingos de maré, regiões onde ficam mais expostas as corrosões dos tubos metálicos. Os blocos de coroamento das estacas e parte de alguns pilares encontram-se tomados por “cracas”. Esse é o nome comum para os crustáceos marinhos sésseis de vários gêneros.

A resistência à compressão dos elementos estruturais tiveram resultados acima de 26 Mpa, maior resistência à compressão do que especificada de projeto de ambas as pontes, sendo assim, não apresentando assim problemas na pontes em relação a esse aspecto.

13 CONCLUSÕES

Os problemas patológicos podem ser classificados em dois tipos: os que afetam as condições de serviço e funcionamento da obra e os que afetam as condições de segurança estrutural.

Após a análise dos resultados dos ensaios realizados descritos anteriormente e exame visual in-loco, realizou-se o projeto de recuperação e reforço da Ponte. Após sua construção, a mesoestrutura é a única área da Ponte que necessita de serviços de recuperação e reforço estrutural. Substituição dos aparelhos de apoio deformados ou com algum defeito.

As vigas apresentam pontos com manifestação de corrosão das armaduras causadas por cobrimento. Outro fator a ser levado em consideração é o microclima onde as vigas estão inseridas. As vigas estão em uma zona de atmosfera marinha, o que propicia o ataque por meio de cloretos. Em alguns locais há inclusive o lascamento e o destacamento de partes do concreto, causado pelas tensões internas sugere-se a remoção do concreto deteriorado, a limpeza das armaduras, preparação da superfície por meio de jateamento com água em alta pressão e a aplicação de um novo revestimento. Devido à facilidade de aplicação, será utilizado o concreto projetado com revestimento de argamassa polimérica cimentícia aditivada com inibidor de corrosão. Essas argamassas podem ser aplicadas com colher de pedreiro ou desempenadeira. O restante da peça deverá ser jateado com água em alta pressão e, posteriormente, pintado com revestimento resistente ao ambiente encontrado.

Nos pilares parede devido ao intenso desgaste das armaduras com corrosão com perda de seção quase total e pouco recobrimento das armaduras, optou-se pela realização da seguinte metodologia executiva: remoção do concreto desagregado com liberação das armaduras com corrosão, aplicação de um hidro jateamento de areia nas armaduras com corrosão com posterior pintura de zinco nas armaduras antigas, aplicação de uma tela de reforço de aço em toda extensão dos pilares-parede(encamisamento), aplicação da tela de zinco grampeada ao concreto dos pilares-parede em toda a sua extensão(proteção catódica), aplicação de concreto projetado com aditivos inibidores de corrosão com 3 cm de espessura e 40 MPa de resistência à compressão e aplicação de argamassa polimérica externa.

Esta solução adotada para os pilares-parede, propiciará um aumento de durabilidade e vida útil destas estruturas concreto armado, principalmente pela

introdução de tela galvânica de zinco (proteção catódica), pelo aumento do recobrimento das armaduras (3 cm), pela introdução de inibidores de corrosão no concreto projetado, e pela aplicação de proteção estrutural externa através de argamassa polimérica com 1 cm de espessura. Deve-se trocar os aparelhos da ponte.

Por conseguinte, as pontes vistoriadas apresentam problemas patológicos decorrentes da falta de manutenção, afetando as condições de serviço e de segurança estrutural devendo-se realizar procedimentos de manutenção o quanto antes visando uma melhoria na qualidade de uso e operação.

14 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AD Fiducia Avaliações e Perícias de Engenharia. **Patologia, recuperação e acidentes**. Disponível em: < <http://www.adfiducia.com.br/servico/patologia-recuperacao-e-acidentes>> Acesso em: 21 jan. 2019.

AECWeb (Brasil). **Juntas de dilatação ajudam a evitar fadiga estrutural de pontes e viadutos**. Disponível em: < https://www.aecweb.com.br/cont/m/rev/juntas-de-dilatacao-ajudam-a-evitar-fadiga-estrutural-de-pontes-e-viadutos_14462_10_0> Acesso em: 20 dez. 2018.

ALMEIDA, J. – **Gestão de Pontes Rodoviárias: um modelo aplicável em Portugal**. tese de mestrado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. 2013.

ALVES, Lauro Ferenzini. **Obras de arte especiais BR-267/MG: patologias x fatores influentes**. 2012. Faculdade de Engenharia da UFJF, Juiz de Fora.

AMERICAN ASSOCIATION OF STATE AND HIGHWAY TRANSPORTATION OFFICIALS. **Manual of condition evaluation of bridges**. 2nd ed. AASHTO, 1998. 148 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Carga móvel rodoviária e de pedestres em pontes, viadutos, passarelas e outras estruturas**. NBR 7188/2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Inspeção de pontes, viadutos e passarelas de concreto – Procedimento**. NBR 9452/2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Projeto de estruturas de concreto – Procedimento**. NBR 6118/2014.

BASTOS, Paulo. S. S. **Pontes: Definições e Classificações**. Notas de aula, Universidade Estadual Paulista. São Paulo: UNESP, 2016.

BASTOS, Herik C. N. **Principais patologias em estruturas de concreto de pontes e viadutos: manuseio e manutenção das obras de arte especiais**. Revista CONSTUINDO, Belo Horizonte, v. 9, Ed. Esp. de Patologia. Minas Gerais: FUMEC, 2017.

CÁNOVAS, M. F. **Patologia e terapia do concreto armado**. São Paulo: Pini, 1988.

CARMONA F. A. **Curso Prático de Diagnóstico, Reparo, Reforço e Proteção de Edificações em Concreto**. São Paulo: ABECE, 2005

CEB -COMITÉ EURO-INTERNACIONAL DU BÉTON. **Diagnosis and assessment of concrete structures**. State of the art report. Boletim 192. Lausanne: CEB, 1989. 120p.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES (DNIT). **Inspeções em pontes e viadutos de concreto armado e protendido - Procedimento**. NORMA DNIT 010/2004a.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES (DNIT). **Manual de Inspeção de pontes Rodoviárias**. 2. Ed. Rio de Janeiro: IPR-709, 2004b.

DNER. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. **Manual de Inspeção de Obras de arte especiais**. Santa Catarina: DNER, 1994.

DNER. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. **Inspeção subaquática de obra de arte especial**. São Paulo: DNER, 2005.

EUA-ESTADOS UNIDOS. NATIONAL RESEARCH COUNCIL. STRATEGIC HIGHWAY RESEARCH PROGRAM. **Condition evaluation of concrete bridges relative to reinforcement corrosion**. Vol. 1Vol. 8. National Research Council Press. Washington DC, 1993.

FIB - International Federation for Structural Concrete. **Management, maintenance and strengthening of concrete structures**. Boletim n017. April 2002. Sprint - Digital Druck Stuttgart.

FUROFIX (Brasil). **Serviços**. Disponível em: <<http://www.furofix.com.br/servicos/>> Acesso em: 16 jan. 2019.

GHEUR, W.S, Kawabata, R.H, Motti, L. **Vistoria de pontes e viadutos em concreto: Procedimentos técnicos**. 104p. Universidade Tuiuti do Paraná, UTP: Curitiba,2007.

G1 (Brasil). **Ponte que dá acesso a município piauiense corre risco de cair**. Disponível em: <<http://g1.globo.com/pi/piaui/vc-no-g1-pi/noticia/2014/11/ponte-queda-acesso-municipio-piauiense-corre-risco-de-cair.html>> Acesso em: 16 jan. 2019.

G1 (Brasil). **Problemas em pilares de ponte sobre o rio Moju são detectados após vistoria.** Disponível em: <https://g1.globo.com/pa/para/noticia/2019/01/27/problemas-em-pilares-de-ponte-sobre-o-rio-moju-sao-detectados-apos-vistoria.ghtml> > Acesso em: 03 fev. 2019.

G1 (Brasil). **Viaduto da marginal pinheiros sobre a linha CPTM cede próximo a ponte do jaguaré.** Disponível em: <https://g1.globo.com/sp/sao-paulo/noticia/2018/11/15/elevado-de-acesso-da-marginal-pinheiros-para-a-ponte-do-jaguare-cede.ghtml>> Acesso em: 03 fev. 2019.

Gênova Engenharia (Brasil). **Recuperação de estruturas de concreto armado exige planejamento e documentação dos serviços.** Disponível em: <https://www.construtoragenova.com.br/midia/techne_recuperacao_estrutural/> Acesso em: 20 jan. 2019.

HABITAPLUS (Brasil). **Vantagens.** Disponível em: <<http://www.habitaplus.com.br>> Acesso em: 23 jun. 2018.

HELENE, Paulo. R.L. **Manual para Reparo, Reforço e Proteção de Estruturas de Concreto Armado.** São Paulo: Pini, 1992.

IBRACON (Brasil). **Ensaaios.** Disponível em: <<http://www.ibracon.com.br/ibracon/Portugues/>> Acesso em: 23 nov. 2018.

ISTOÉ (Brasil). **Desaba parte de viaduto de eixo rodoviário de Brasília.** Disponível em: < <https://istoe.com.br/desaba-parte-de-viaduto-de-eixo-rodoviario-de-brasil>> Acesso em: 13 ago. 2018.

LANER, F. J. **Manifestações Patológicas nos Viadutos, Pontes e Passarelas do Município de Porto Alegre.** Porto Alegre, 2001.

LENCIONI, Julia Wippich. **Proposta de Manual Para Inspeção de Pontes e Viadutos em Concreto Armado – Discussão Sobre a Influência dos Fatores Ambientais na Degradação de Obras-de-Arte Especiais.** 2005. 187f. Tese de Mestrado em Engenharia de Infra-Estrutura Aeroportuária – Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos.

MAIA MELO ENGENHARIA. **PROJETO EXECUTIVO DE ENGENHARIA PARA RECUPERAÇÃO E REFORÇO DO COMPLEXO DE PONTES DE IGAPÓ NA BR-101/RN.** DNIT/RN, Natal, 2012.

MARCHETTI, Osvaldemar. **Pontes de Concreto Armado.** 2. Ed. São Paulo: Blucher, 2008.

MASON, Jayme. **Pontes em Concreto Armado e Protendido.** Rio de Janeiro: LTC, 1977.

MITRE, Marcos P. **Metodologia para inspeção e diagnostico de pontes e viadutos de concreto.** 167p. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo. São Paulo, 2005.

O'CONNOR, Colin. **Pontes- 1: superestruturas.** Rio de Janeiro: LTC, 1975.

PEREIRA, F. S. **Vistoria em pontes e viadutos**. Notas de aula, Centro Universitário do Rio Grande do Norte. Natal: UNIRN, 2018.

Perícia Engenharia. **Análise das condições de serviços das estruturas**. Disponível em: < <http://www.periciaengenhariamaringa.com.br/pericia-engenharia-maringa/projetos/analise+das+condicoes+de+servico+das+estruturas/100>> Acesso em: 21 jan. 2019.

PFEIL, Walter. **Pontes em Concreto Armado**. Rio de Janeiro: LTC, 1979.

PINHEIRO, Catarina. **Análise de Manifestações Patológicas em um Viaduto Localizado no Centro da Cidade de Belém-PA** CONGRESSO BRASILEIRO DE PONTES E ESTRUTURAS, Rio de Janeiro: 2018.

Portal Agora (Brasil). **Cedendo: Em Imbituba, ponte construída em 1996 é interditada por questão de segurança**. Disponível em: <<http://portalahora.com.br/noticia/3064/cedendo-em-imbituba-ponte-construida-em-1996-e-interditada-por-questao-de-seguranca>> Acesso em: 7 jan. 2019.

RADOMSKI, W. **Bridge rehabilitation**. Imperial College Press, 2002.

RAINA, V.K. **Concrete bridges**. United States: Tata MacGraw-Hill Publishing Company, 1996.

RODRIGUES, J. Nova tecnologia de investigação garante a checagem das estruturas com cabos protendidos não aderidos. **Corrosão**. São Paulo, v.77, n.2, p.22-25, mai. 2015.

SILVA, Felipe Moura. **Inspeção de Obras Arte Especiais: Pontes e Viadutos**. 2016. 144f. Tese de Mestrado em Engenharia Civil– Instituto Superior de Engenharia do Porto, Porto.

Tribuna do Norte (Brasil). **Instalação de telas de proteção na ponte de igapó**. Disponível em: < <http://www.tribunadonorte.com.br/album/2277>> Acesso em: 20 set. 2018.

VITÓRIO, José Afonso Pereira. **Vistorias, Conservação e Gestão de Pontes e Viadutos de Concreto**. CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 48., 2006, Recife. ANAIS DO 48º. Recife: Ibracon.

VITÓRIO, José Afonso Pereira. **Manutenção e Gestão de Obras de Arte Especiais**. Encontro nacional das empresas de arquitetura e engenharia consultiva. 2005, Recife: ENAENCO.