

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL**

Lucas Bertolino Cardoso

**ANÁLISE DAS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM
PONTES E VIADUTOS NO LITORAL NORTE DO RIO
GRANDE DO SUL**

Porto Alegre
Junho 2018

LUCAS BERTOLINO CARDOSO

**ANÁLISE DAS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM
PONTES E VIADUTOS NO LITORAL NORTE DO RIO
GRANDE DO SUL**

Trabalho de Diplomação apresentado à Comissão de Graduação do Curso de Engenharia Civil da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do título de Engenheiro Civil.

Orientador: Daniel Tregnago Pagnussat
Coorientadora: Angela Borges Masuero

Porto Alegre

Junho 2018

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1 - Ponte de pedra, Turquia | 10 |
| Figura 2 - Iron Bridge, Inglaterra | 11 |
| Figura 3 - Partes constituintes de uma ponte | 12 |
| Figura 4 - Classificação de acordo com o sistema estrutural da superestrutura | 13 |
| Figura 5 - Distribuição percentual das causas das manifestações patológicas no Brasil. | 14 |
| Figura 6 - Configuração da fissuração por flexão em vigas | 18 |
| Figura 7 - Configuração de fissuração por flexão em lajes | 18 |
| Figura 8 – Exemplo de fissuração por esmagamento do concreto | 19 |
| Figura 9 – Exemplo de fissura causada pelo esforço cortante em uma viga..... | 19 |
| Figura 10 – Representação esquemática do esmagamento e tração do concreto simultaneamente. | 20 |
| Figura 11 – Exemplo de configuração de fissura de torção | 20 |
| Figura 12 - Fissuras causadas pela reação álcali agregado em um bloco de fundação | 23 |
| Figura 13 - Gel exudando a partir de uma fissura na superfície do concreto | 24 |
| Figura 14 - Tipologia da corrosão do aço. (A)Vista superior; (B)Vista lateral..... | 25 |
| Figura 15- Aplicação de fenolftaleína em uma superfície..... | 26 |
| Figura 16 - Localização das pontes e viadutos abordados no trabalho | 28 |
| Figura 17 - Viaduto de acesso à BR-290..... | 29 |
| Figura 18 - Viaduto da estrada do mar em Osório | 29 |
| Figura 19 - Ponte do camarão..... | 30 |
| Figura 20 - Ponte Giuseppe Garibaldi | 30 |
| Figura 21 - Pacômetro | 33 |
| Figura 22 - Produtos para o ensaio | 35 |
| Figura 23 - Ponte sobre o rio Tramandaí..... | 36 |
| Figura 24 - Pesca sobre a ponte Giuseppe Garibaldi..... | 36 |
| Figura 25 - Lado do município de Imbé..... | 37 |
| Figura 26 - Armadura transversal exposta..... | 37 |
| Figura 27 - Armadura longitudinal exposta..... | 38 |
| Figura 28 - Armadura exposta na laje da ponte | 38 |
| Figura 29 - Armadura exposta no pilar..... | 39 |
| Figura 30 - Parapeito deteriorado | 39 |
| Figura 31 – Viga com armadura exposta..... | 40 |

| | |
|--|----|
| Figura 32 - Vegetação na estrutura..... | 40 |
| Figura 33 - Estribos expostos | 41 |
| Figura 34 - Escora apoiada em rocha | 41 |
| Figura 35 – Concreto e armadura deteriorados | 42 |
| Figura 36 - Pacometria | 43 |
| Figura 37 - Proximidade do mar..... | 44 |
| Figura 38 - Retirada de amostra | 45 |
| Figura 39 - Teste em branco | 45 |
| Figura 40 - Amostra da ponte Giuseppe Garibaldi..... | 46 |
| Figura 41 - Solução filtrada | 46 |
| Figura 42 – Análise qualitativa de nitratos, ponte Giuseppe Garibaldi..... | 47 |
| Figura 43- Análise qualitativa de cloretos, ponte Giuseppe Garibaldi..... | 47 |
| Figura 44 - Análise qualitativa de sulfatos, ponte Giuseppe Garibaldi..... | 48 |
| Figura 45 - Teste com fenolftaleína..... | 48 |
| Figura 46 - Área carbonatada | 49 |
| Figura 47 - Ensaios DAER-RS..... | 49 |
| Figura 48 - Ponte do camarão..... | 50 |
| Figura 49 - Local das análises | 50 |
| Figura 50 - Armadura exposta..... | 51 |
| Figura 51 – Pilar com barras de aço expostas | 51 |
| Figura 52 - Aço sem cobertura | 52 |
| Figura 53 – Vegetação e umidade | 52 |
| Figura 54 - Vegetação do meio da estrutura..... | 53 |
| Figura 55 - Coleta de amostra..... | 54 |
| Figura 56 - Amostra 4 filtrada | 54 |
| Figura 57 - Análise qualitativa de cloretos, Ponte do Camarão..... | 55 |
| Figura 58 - Análise qualitativa de sulfatos, Ponte do Camarão..... | 55 |
| Figura 59 - Teste de carbonatação | 56 |
| Figura 60 - Viaduto da estrada do mar | 57 |
| Figura 61 - Armadura do pilar exposta..... | 57 |
| Figura 62 - Vegetação nas juntas do viaduto..... | 58 |
| Figura 63 - Eflorescência..... | 58 |
| Figura 64 - Falha no pavimento..... | 59 |
| Figura 65 - Junta na pavimentação | 59 |

| | |
|--|----|
| Figura 66 - Pilar analisado..... | 60 |
| Figura 67 - Armadura do pilar exposta..... | 61 |
| Figura 68 - Cobrimento armadura do pilar..... | 61 |
| Figura 69 - Análise qualitativa de nitratos, Viaduto da estrada do mar..... | 62 |
| Figura 70 - Análise qualitativa de cloretos, Viaduto da estrada do mar..... | 62 |
| Figura 71 - Análise qualitativa de sulfatos, Viaduto da estrada do mar..... | 63 |
| Figura 72 - Teste de carbonatação viaduto da estrada do mar..... | 63 |
| Figura 73 - Viaduto de acesso à BR-290..... | 64 |
| Figura 74 - Danos causados por veículos..... | 64 |
| Figura 75 - Fissura na superestrutura..... | 65 |
| Figura 76 - Falha de concretagem..... | 65 |
| Figura 77 - Análise qualitativa de cloretos, Viaduto de acesso à BR-290..... | 66 |
| Figura 78 - Análise qualitativa de sulfatos, Viaduto de acesso à BR-290..... | 67 |
| Figura 79 - Confirmação da presença de sulfato na amostra..... | 67 |
| Figura 80 - Escarificação manual do local..... | 68 |
| Figura 81 - Aplicação de fenolftaleína..... | 68 |

LISTA DE QUADROS

| | |
|--|----|
| Quadro 1 - Causas Intrínsecas das manifestações patológicas do concreto armado | 15 |
| Quadro 2 - Causas extrínsecas das manifestações patológicas do concreto armado..... | 16 |
| Quadro 3 - Dimensões de aberturas de fissura, trincas, rachaduras, fendas e brechas..... | 17 |
| Quadro 4 - Penetração da frente de carbonatação em concreto de cimento Portland | 25 |
| Quadro 5 - Correspondência entre classe de agressividade ambiental e o cobrimento nominal | 27 |
| Quadro 6 - Pacometria..... | 43 |
| Quadro 7 - Pacometria ponte do camarão | 53 |
| Quadro 8 - Pacometria pilares do viaduto da estrada do mar..... | 60 |
| Quadro 9 – Cobrimento de armadura no viaduto da BR-290..... | 66 |
| Quadro 10 - Resumo das manifestações patológicas..... | 69 |

SUMÁRIO

| | |
|--|-----------|
| LISTA DE FIGURAS..... | 3 |
| 1 INTRODUÇÃO | 8 |
| 1.1 Objetivos | 8 |
| 1.1.2 Objetivos Específicos | 8 |
| 1.2 Delimitações..... | 9 |
| 2 PONTES E VIADUTOS | 10 |
| 2.1 DEFINIÇÕES..... | 10 |
| 2.2 HISTÓRICO..... | 10 |
| 3 MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM CONCRETO ARMADO..... | 14 |
| 4 PRINCIPAIS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM PONTES E VIADUTOS DE CONCRETO ARMADO..... | 17 |
| 4.1 FISSURAS | 17 |
| 4.1.1 Fissuras de tração causadas pelo esforço de flexão | 18 |
| 4.1.2 Fissuras de compressão – Esforço de flexão | 18 |
| 4.1.3 Fissuras causadas pelo esforço cortante | 19 |
| 4.1.4 Fissuras causadas pela torção | 20 |
| 4.1.5 Fissuras causadas pela retração | 21 |
| 4.2 DETERIORAÇÃO DO CONCRETO | 21 |
| 4.3 CORROSÃO DA ARMADURA | 24 |
| 4.3.1 Carbonatação | 25 |
| 4.3.2 Ataque de cloretos e sulfatos | 26 |
| 5 OBJETOS DE ESTUDO..... | 28 |
| 6 METODOLOGIA DE AVALIAÇÃO | 31 |
| 6.1 Vistoria | 32 |
| 6.1.1 Métodos de ensaio | 32 |
| 6.1.1.1 Resistência à carbonatação | 32 |
| 6.1.1.3 Pacometria | 33 |
| 6.1.1.4 Teste qualitativo de sais solúveis..... | 33 |
| 7 ANÁLISE DOS RESULTADOS | 36 |
| 7.1 Ponte Giuseppe Garibaldi..... | 36 |
| 7.1.1 Análise visual | 37 |
| 7.1.3 Teste qualitativo de sais..... | 44 |
| 7.1.4 Carbonatação | 48 |
| 7.2 Ponte do camarão | 50 |
| 7.2.1 Análise visual | 50 |

| | |
|---|-----------|
| 7.2.2 Pacometria | 53 |
| 7.2.3 Teste qualitativo de sais..... | 54 |
| 7.2.4 Carbonatação | 56 |
| 7.3 Viaduto da estrada do mar | 56 |
| 7.3.1 Análise visual | 57 |
| 7.3.2 Pacometria | 60 |
| 7.3.3 Teste qualitativo de sais..... | 62 |
| 7.3.4 Carbonatação | 63 |
| 7.4 Viaduto na br-290..... | 64 |
| 7.4.1 Análise visual | 64 |
| 7.4.2 Pacometria | 66 |
| 7.4.3 Teste qualitativo de sais..... | 66 |
| 7.4.4 Carbonatação | 68 |
| 8 RESUMO DOS RESULTADOS | 69 |
| 8.1 Ponte Giuseppe Garibaldi..... | 70 |
| 8.2 Ponte do Camarão | 71 |
| 8.3 Viaduto da estrada do mar | 71 |
| 8.4 Viaduto de acesso à BR-290..... | 72 |
| 9 CONSIDERAÇÕES FINAIS..... | 74 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 75 |

1 INTRODUÇÃO

Denominados de obras de arte especiais (OAE), as pontes e viadutos são projetadas para vencerem vãos, enquanto as pontes cruzam obstáculos hídricos, viadutos podem transpor outras vias. De acordo com Lessa(1983), de 1955 a 1961 foram construídos 12169km e pavimentados 7215km de rodovias federais e também construídos 23245km e pavimentados 3785km de rodovias estaduais. Nesse período, isso representava o desencadeamento do desenvolvimento industrial do país.

Assim como qualquer outra construção, pontes e viadutos necessitam de constantes manutenções no decorrer de toda sua vida útil, porém em muitos casos, não é realizada uma ação preventiva para manter a qualidade dessas obras.

Pontes e viadutos de concreto armado, que serão o foco desse trabalho, podem apresentar diversas manifestações patológicas. Sendo as mais comuns: fissuras, deterioração do concreto, corrosão da armadura, carbonatação, eflorescência e reação álcali-agregado. Ainda serão analisadas em laboratório as amostras coletadas de cada objeto de estudo para verificar a presença de cloreto, sulfato e nitrato.

1.1 OBJETIVOS

O objetivo deste trabalho consiste em analisar as principais manifestações patológicas ocorrentes em algumas pontes de viadutos do litoral norte do Rio Grande do Sul, identificando e catalogando os tipos de incidências.

1.1.2 Objetivos Específicos

Como objetivo específico tem-se:

- a) analisar visualmente, e por meio de alguns ensaios, as condições das pontes e viadutos;
- b) verificar a necessidade de possíveis intervenções futuras;

1.2 DELIMITAÇÕES

O trabalho delimita-se a avaliar pontes e viadutos dentro da área de abrangência da pesquisa, que tenham acesso e estejam disponíveis para análise. Não será levado em conta os projetos estruturais, executivos ou de qualquer outra natureza.

2 PONTES E VIADUTOS

Com o aumento do transporte rodoviário devido a incentivos no país decorrentes do plano de metas do governo do Jucelino Kubitschek, que ocupou a presidência da república entre 1956 e 1960, a tendência de construções de estradas representavam o desenvolvimento industrial no país. Essa tendência se consolidou e levou a criação de uma malha rodoviária extensa, com a presença de muitas pontes e viadutos.

2.1 DEFINIÇÕES

Denomina-se ponte, a obra destinada a transposição de obstáculos à continuidade do leito normal de uma via, tais como rios, braços de mar, vales profundos e outras vias (PFEIL, 1979). Na literatura técnica ainda são encontradas algumas classificações segundo o material que são construídos, seu tipo estrutural, tempo de utilização, fixidez ou mobilidade do estrado, entre outros. Quando os obstáculos não são constituídos por água, como outras vias ou vales, denomina-se viadutos.

2.2 HISTÓRICO

Há indícios da construção de pontes em arco ainda na Mesopotâmia e Egito, 4000 a.C., mas a estrutura mais antiga presente nos dias de hoje é a ponte de pedra, no Rio Meles, localizada na Turquia e construída no século IX a.C., como pode ser visto na figura 1.

Figura 1 - Ponte de pedra, Turquia



(fonte:<https://www.curandomeensalud.com/2017/03/08/17-construcciones-milenarias-que-aun-se-siguen-utilizando/> acesso em 14 de outubro de 2017)

Com o surgimento do aço, as estruturas mais leves eram capazes de vencer vãos maiores, a primeira ponte desse material foi executada na Inglaterra, em 1779, conforme a figura 2.

Figura 2 - Iron Bridge, Inglaterra



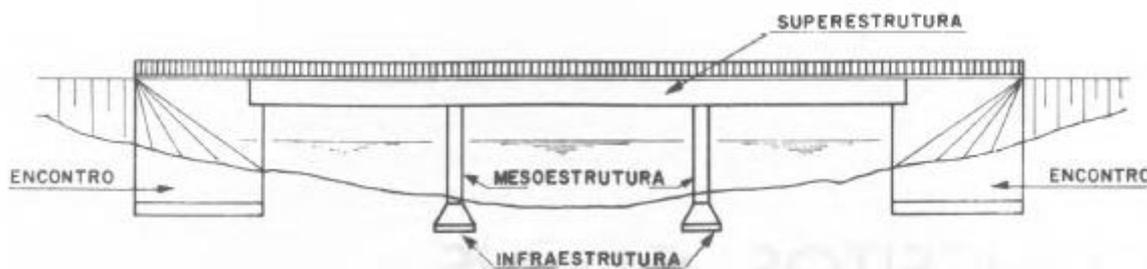
(fonte: <http://www.english-heritage.org.uk/visit/places/iron-bridge/> acesso em 14 de outubro de 2017)

Com o surgimento do concreto armado, em 1912, segundo Leonhardt(1979), começaram a ser adotadas pontes em viga e em pórtico com vãos de até 30m.

Sob o ponto de vista funcional, pode-se dividir uma ponte em três principais partes: infraestrutura, mesoestrutura e superestrutura (Pfeil, 1979). A infraestrutura é a parte por meio da qual são transmitidos ao terreno os esforços recebidos da mesoestrutura; é a fundação da ponte, que podem ser constituída de sapatas, tubulões, estacas, etc., e ainda as peças que ligam os diversos elementos entre si, como blocos de cabeça de estacas e vigas de enrijamento desses blocos.

A superestrutura é a parte útil da obra, sob o ponto de vista de sua finalidade, geralmente composta de lajes e vigas (principais e secundárias). Pode-se observar na figura 3 essas partes que constituem as pontes.

Figura 3 - Partes constituintes de uma ponte

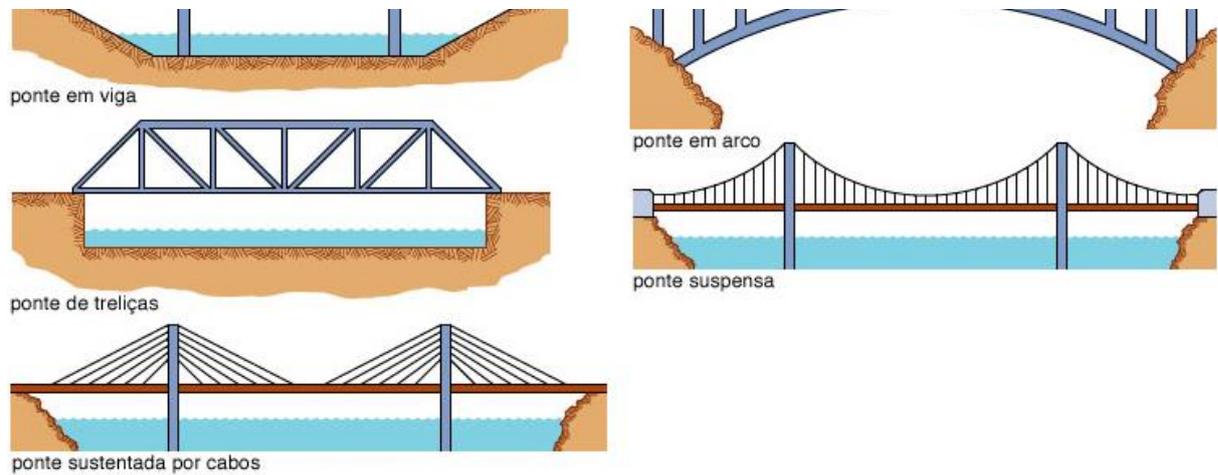


(fonte: Pfeil, 1979)

De acordo com Pfeil(1979) e El Debs e Takeya(2007), a classificação dessas construções pode seguir diversos critérios, dentre eles, pode-se destacar:

- a) material da superestrutura: madeira, concreto simples, concreto armado, concreto protendido, aço e mistas(concreto e aço). Na infraestrutura das pontes, geralmente é utilizado o concreto armado;
- b) comprimento: embora não exista um consenso, e nem grande relevância, essa classificação é apenas para denominação. Pode-se ter galerias (2 a 3 metros de vão), pontilhões (3 a 10 metros) , pontes e viadutos (acima de 10 metros) e ainda pode-se definir como pontes de pequenos vãos (até 30m), médios vãos (30m a 80m) e grandes vãos (acima de 80m);
- c) natureza de tráfego: associada ao tipo de tráfego principal, como rodoviárias, ferroviárias, passarelas, aeroviárias, aquedutos e mistas (destinadas a mais de um tipo de tráfego, como rodo-ferroviária por exemplo);
- d) sistema estrutural da superestrutura: pode-se destacar pontes em viga, em pórtico, em arco, pênsil e estaiada. Pode-se ver abaixo, na figura 4, um modelo simplificado de cada caso.

Figura 4 - Classificação de acordo com o sistema estrutural da superestrutura



(fonte:<https://escola.britannica.com.br/levels/fundamental/article/ponte/480845> modificada)

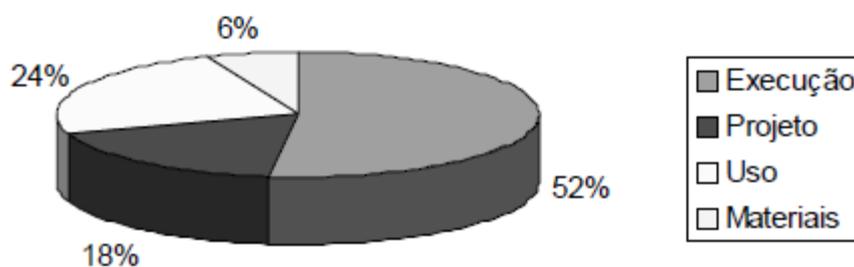
3 MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM CONCRETO ARMADO

Com o acelerado crescimento da construção civil, o progresso do desenvolvimento tecnológico aconteceu naturalmente. Devido à inevitáveis falhas involuntárias e casos de imperícias, é constatado que algumas estruturas acabam por não ter um desempenho satisfatório, esse complexo conjunto de fatores gera o que chama-se de deterioração estrutural (Souza e Ripper, 1998).

São diversos os fatores que estão relacionados com o surgimento dessas manifestações patológicas, desde o envelhecimento natural da estrutura, como também acidentes, utilização de materiais fora das especificações, mão de obras desqualificada, entre outros.

As causas das ocorrências dessas manifestações patológicas variam de acordo com o a região ou país, no caso do Brasil, pode-se ver que mais da metade dos erros estão relacionado com a execução das estrutura (Souza, 1991). Na figura 5 pode-se ver um exemplo de trabalho que analisa a distribuição percentual das causas das manifestações patológicas no Brasil.

Figura 5 - Distribuição percentual das causas das manifestações patológicas no Brasil.



(fonte: Souza, 1991)

Em geral, os problemas patológicos apresentam manifestações externas, que possibilitam deduzir qual a natureza, a causa e os fenômenos envolvidos. O conhecimento das origens da daterioração é fundamental, não apenas para executar os reparos exigidos, mas também para garantir que a estrutura não volte a se deteriorar. De acordo com Souza e Ripper (1998), pode-se classificar as causas em dois diferentes grupo: Causas intrínsecas e extrínsecas.

- a) causas intrínsecas: deteriorações que são inerentes às próprias estruturas, ou seja, todas as que se originam nos materiais e peças estruturais durante as fases de execução ou de utilização das obras devido a falhas humanas, por questões próprias ao material concreto e por ações externas como acidentes.

Quadro 1 - Causas Intrínsecas das manifestações patológicas do concreto armado

| CAUSAS INTRÍSECAS | | | | | |
|--|-------------------------------------|---|---|-----------------|--|
| Falhas humanas durante a construção | | Causas naturais | Falhas humanas durante a utilização | | |
| Deficiências de concretagem | Transporte | Causas próprias às estruturas porosas de concreto | Ausência de manutenção | | |
| | Lançamento | | | | |
| | Juntas de concretagem | | | | |
| | Adensamento | | | | |
| | Cura | | | | |
| Inadequação de escoramentos e formas | | | | Causas químicas | |
| Deficiência na armaduras | Má interpretação dos projetos | | | | Reações internas ao concreto |
| | Insuficiência de armaduras | | | | Expansibilidade de certos constituintes do cimento |
| | Mau posicionamento | | | | Presença de cloretos |
| | Cobrimento de concreto insuficiente | | | | Presença de ácidos e sais |
| | Deficiências nas emendas | Presença de anidro carbônico | | | |
| | Má utilização de anticorrosivos | Presença de água | | | |
| Utilização incorreta dos materiais de construção | Fck inferior ao especificado | Causas físicas | Elevação da temperatura interna do concreto | | |
| | Aço diferente do especificado | | Variação de temperaturas | | |
| | Solo com características diferentes | | Insolação | | |
| | Utilização de agregados reativos | | Vento | | |
| | Utilização inadequada de aditivos | Água | | | |
| | Dosagem inadequada de concreto | Causas biológicas | | | |

(fonte: Adaptado Souza e Ripper, 1998)

- b) causas extrínsecas: são as que independem do corpo estrutural, assim como a composição interna do concreto, ou falhas devido a execução, como se fossem fatores que atacam a estrutura “de fora para dentro”.

Quadro 2 - Causas extrínsecas das manifestações patológicas do concreto armado

| CAUSAS EXTRÍNSECAS | | | | | |
|---|--|---------------------------------|-------------------------|----------------|------------------|
| Falhas humanas durante o projeto | Falhas humanas durante a utilização | Ações mecânicas | Ações físicas | Ações químicas | Ações biológicas |
| Modelização inadequada da estrutura | Alterações estruturais | Choques de veículos | Variação de temperatura | | |
| Má avaliação das cargas | Sobrecarga exagerada | Recalque de fundações | Insolação | | |
| Detalhamento errado ou insuficiente | Alteração das condições do terreno de fundação | Acidentes (Ações imprevisíveis) | Atuação de água | | |
| Inadequação ao ambiente | | | | | |
| Incorreção na interação solo-estrutura | | | | | |
| Incorreção na consideração de juntas de dilatação | | | | | |

(fonte: Adaptado Souza e Ripper, 1998)

4 PRINCIPAIS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM PONTES E VIADUTOS DE CONCRETO ARMADO

Devido à tendência natural de deterioração das estruturas de pontes e viadutos, acrescentado ao fato de ter pouco, ou até mesmo nenhum processo de manutenção, o processo de surgimento desse problemas acaba sendo acelerado. A corrosão da armadura e a existência de fissuras de origem mecânica, constituem, de modo geral, as formas mais comuns de manifestações patológicas em estruturas de obras de arte especiais (Lourenço, 2009).

Neste trabalho será abordado, além destes temas, carbonatação, deterioração do concreto, eflorescência e reação álcali agregado.

4.1 FISSURAS

O surgimento de fissura no concreto é algo bastante esperado por se tratar de um material de baixa resistência à tração, no entanto, para a fissura ser a principal causa de uma deficiência estrutural, tem-se que saber sua origem, intensidade e magnitude (Souza e Ripper, 1998).

Segundo Duarte (1998), uma fissura é dita ativa, quando a causa responsável pela abertura ainda atua na estrutura, e uma fissura passiva é quando não há continuidade ou agravamento em seus estados.

De acordo com Sartorti (2008), pode-se classificar essas aberturas de acordo com sua dimensão, conforme o quadro 3.

Quadro 3 - Dimensões de aberturas de fissura, trincas, rachaduras, fendas e brechas.

| Tipos de aberturas | Tamanho |
|---------------------------|--------------------|
| Fissura capilar | menos de 0,2 mm |
| Fissura | de 0,2 mm a 0,5 mm |
| Trinca | de 0,5 mm a 1,5 mm |
| Rachadura | de 1,5 mm a 5 mm |
| Fenda | de 5 mm a 10 mm |
| Brecha | mais de 10 mm |

(fonte: Sartorti, 2008)

4.1.1 Fissuras de tração causadas pelo esforço de flexão

A peça sofrerá uma deformação excessiva, gerando fissuras, quando a rigidez dela ou a área de aço são insuficientes, ou ainda se o carregamento for acima do esperado, que de acordo com Souza e Ripper (1998), estendem-se da borda mais tracionada, elevando-se e ramificando-se até a altura da linha neutra para as vigas, conforme a figura 6

Figura 6 - Configuração da fissuração por flexão em vigas

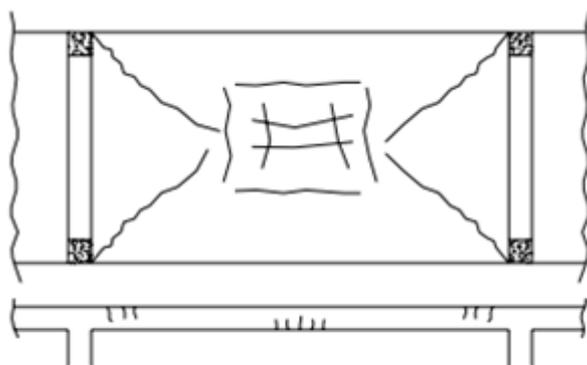


(fonte: Autor, 2017)

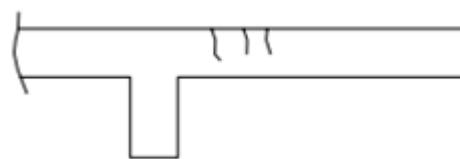
Helene (1988) apresenta uma configuração para fissuras por flexão em lajes, conforme a figura 7.

Figura 7 - Configuração de fissuração por flexão em lajes

a)laje intermediária



b)laje em balanço



(fonte: Helene, 1988)

4.1.2 Fissuras de compressão – Esforço de flexão

Esta é uma fissura muito crítica, pois quando ocorre isso, significa que o elemento fletido ultrapassa o limite de resistência da compressão do concreto. Para Helene(1988), este efeito

tende a ser causado pela resistência inadequada do concreto ou por sobrecargas não previstas. Em muitos casos, o problema é um erro de projeto, quando não foi dimensionada a armadura de compressão. Pode-se ver na Figura 8 uma viga rompida em laboratório, mostrando como fica a região comprimida da peça.

Figura 8 – Exemplo de fissuração por esmagamento do concreto



(fonte: notas de aula Campagnolo, 2017)

4.1.3 Fissuras causadas pelo esforço cortante

De acordo com Sartorti (2008), as tensões de compressão nas bielas geram tensões de tração perpendicularmente a elas, o estribo ou as barras dobradas devem absorver essas tensões, juntamente com o embricamento e engrenamento dos agregados. Quando a armadura não é o suficiente, ocorrem fissuras que formam ângulos de 35° à 45° com a horizontal, próximo aos apoios. Na figura 9 é possível observar esse tipo de fissura.

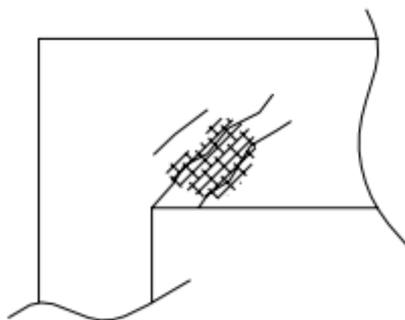
Figura 9 – Exemplo de fissura causada pelo esforço cortante em uma viga



(fonte: Autor, 2017)

Conforme Helene (1988), o excesso de tensões de compressão na biela acima do limite de resistência do concreto podem gerar fissuras por esmagamento do concreto das bielas, que ainda podem ser acompanhadas de fissuras por tração, como apresentado na figura 10.

Figura 10 – Representação esquemática do esmagamento e tração do concreto simultaneamente.

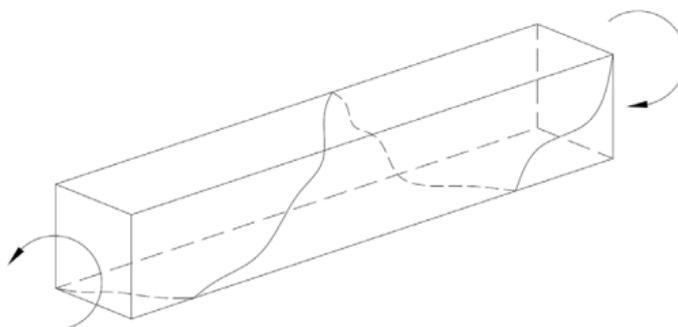


(fonte: Helene, 1992)

4.1.4 Fissuras causadas pela torção

Esse tipo de fissura, conforme Leonhardt (1977), são semelhantes a de cortante, porém a fissuras acontecem como a rosca de um parafuso. Pode-se ver uma representação desse tipo de fissura na figura 11.

Figura 11 – Exemplo de configuração de fissura de torção



(fonte: manual de recuperação de pontes e viadutos rodoviários DNIT, 2010)

4.1.5 Fissuras causadas pela retração

Esse tipo é mais comum nas faces externas dos elementos, como as lajes nas quais tendem a fazer um ângulo de 45° junto aos cantos. De acordo com Souza e Ripper(1998), este é o primeiro caso em que a fissuração, no processo de execução de uma peça estrutural, ocorre ainda antes da pega do concreto, devido à evaporação da água em excesso ocorrer de forma muito acelerada. Geralmente são fissura passiva e podem ser minimizadas executando um processo de cura adequado. De acordo com Helene(1988), para fissuras passivas em ambientes agressivos e úmidos, se a abertura for até 0.1mm, é dispensado qualquer tratamento, e para interiores secos e não agressivo, até 0.3mm não é necessário realizar qualquer tipo de procedimento.

4.2 DETERIORAÇÃO DO CONCRETO

Segundo o Manual de inspeções de pontes rodoviárias do DNIT (2010), o fenômeno inicia nas superfícies por uma mudança de coloração, seguido de um aumento na abertura das fissuras entrecruzadas que surgiram. A causa principal geralmente é a presença de sulfatos e cloretos, concretos adensados de forma errada e também concretos preparados com aditivos acelerador de pega com excesso de cloreto.

Sartorti(2008) ainda diz que as deteriorações do concreto são somente químicas e não eletroquímicas, podendo ocorrer de três formas:

- a) Lixiviação: o hidróxido de cálcio, conjuntamente com outras substâncias, tem a função de promover a coesão do concreto. A lixiviação é justamente a dissolução e o arrasto do hidróxido de cálcio, Ca(OH)_2 , com a formação de estalactites e estalagmites na superfície do concreto atacado. Conforme Mehta et al (1994), o hidróxido de cálcio constituem 20 a 25% do volume de sólidos na pasta hidratada, e ao serem dissolvidos, formam-se vazios provocando maior porosidade e tornando seu meio mais ácido. A eflorescência também é um resultado da lixiviação dos compostos calcários que em certas condições podem formar depósitos de sais na superfície do concreto. Segundo Neville (1997), é mais comum acontecer quando um tempo frio e chuvoso é seguido

por um período seco e quente, então a cal é dissolvida pela umidade superficial e o Ca(OH)_2 é trazido para a superfície;

- b) Reação iônica: é a reação de alguns íons com substâncias químicas existentes no cimento, os principais íons reagente são de magnésio, amônio, cloro e de nitrato. São formados por compostos facilmente solúveis que são posteriormente removidos em solução por uma corrente de água, ou simplesmente permanecem no mesmo lugar, porém sem sua capacidade aglomerante (CASSAL, 2000);
- c) Por expansão: nesse caso, os sulfatos e os compostos do cimento reagem. Os sulfatos mais reagentes são o amoníaco, $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, o cálcico, CaSO_4 , o de magnésio, MgSO_4 , e o de sódio, Na_2SO_4 .

De acordo com Cassal(2000), essas reações geram novos compostos no interior da pasta de cimento endurecida. Inicialmente a reação gera um aumento na resistência de concreto, pois são formados novos cristais que preenchem os poros, diminuindo sua porosidade e aumentando a compacidade.

Na etapa seguinte, com a continuidade do crescimentos desses cristais, tensões internas são geradas, podendo resultar na destruição do concreto.

A reação álcali-agregado é a que ocorre entre os constituinte de sílica ativa do agregado e os álcalis do cimento, podendo ser desagregante e se manifesta pela formação de fissuras. Podem não ser fissuras prejudiciais à compressão do concreto, porém podem facilitar a entrada de agentes agressivos (LANER, 2001).

Neville (1997) diz que a formação de gel somente ocorre na presença de íons Ca^{++} . Isso é importante para impedir as reações expansivas álcali-sílica com a inclusão de pozolanas no concreto, que acabam removendo o Ca(OH)_2 . Neville(1997) ainda diz que adicionar cinza volante classe F em um teor de 58% do total do material cimentício é bastante eficaz para evitar a expansão.

Ticher (2006) afirma que a ocorrência da reação álcali-agregado está condicionada à interação entre a quantidade de álcalis disponíveis, a potencialidade reativa dos agregados e a presença de umidade, e quando constatado essa manifestação, somente medidas paliativas podem ser

tomadas, já que não se conhece nenhuma forma de eliminá-la, nem prever quanto tempo será necessário para que ela termine.

Wang(1990) divide os fatores que afetam a reação álcali agregado em:

- a) Agentes relacionados ao meio ambiente: ciclos de molhagem e secagem, umidade e temperatura;
- b) Agentes químicos: presença de sais, aditivos aceleradores de pega, superplastificantes e redutores de água;
- c) Agentes relacionados ao concreto: relação água/cimento, teor de álcalis do cimento, dimensão das partículas dos agregados;
- d) Agentes que controlam a reação e expansão: adições pozolânicas, teor de ar incorporado, porosidade dos agregados, aditivos químicos que inibem a expansão.

Além desses, tem-se outros, principalmente relacionados com os minerais presentes nas rochas que dão origem aos agregados do concreto.

As fissuras causadas pela reação álcali-agregado também podem danificar de forma extremamente crítica uma estrutura, como pode-se ver na figura 12.

Figura 12 - Fissuras causadas pela reação álcali agregado em um bloco de fundação



(fonte: Tiecher e Dal Molin, 2009)

Na figura 13, pode-se ver o gel que é exudado a partir de uma fissura na superfície do concreto.

Figura 13 - Gel exudando a partir de uma fissura na superfície do concreto



(fonte: Tiecher e Dal Molin, 2009)

4.3 CORROSÃO DA ARMADURA

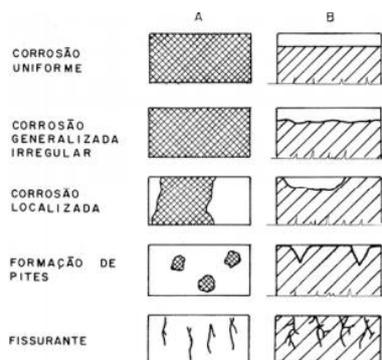
A corrosão da armadura é responsável pelos principais danos causados em estruturas de concreto armado, principalmente construções localizadas em ambiente propício a isso, como no caso de pontes. O mecanismo de corrosão do aço no concreto é eletroquímico, como a maioria das reações corrosivas em presença de água ou ambiente úmido (U.R. > 60%) (Helene, 1988).

Conforme Perdrix (1992), os metais, para que possam ser utilizados com adequada resistência e funcionalidade, passam por um processo denominado de redução química, onde os óxidos são expulsos resultando no metal puro. A oxidação é justamente o processo inverso, onde o metal tende a associar-se novamente com óxidos.

Os principais efeitos da corrosão são a redução da seção transversal da barra, diminuindo a resistência do conjunto, perda de aderência do concreto com o aço e cisalhamento, podendo causar fissuras e favorecendo a carbonatação (SILVA 1995).

Segundo Perdrix (1992), a corrosão do concreto, segundo sua forma de manifestação, pode ser classificada como na figura 14.

Figura 14 - Tipologia da corrosão do aço. (A)Vista superior; (B)Vista lateral.



(fonte: Perdrix, 1992)

A corrosão uniforme e a generalizada irregular tendem a ser decorrentes da despassivação do aço por meio da carbonatação. A corrosão localizada e por pites é mais comum em casos de estruturas contaminadas por cloretos ou sulfatos.

4.3.1 Carbonatação

De acordo com o Manual de Inspeção de pontes rodoviária do Dnit(2010), carbonatação é a transformação dos compostos do cimento hidratado em carbonatos, devido ao gás carbônico, CO_2 , o que ocasiona a redução do pH do concreto, despassivando o aço e facilitando o ataque de substâncias deletérias. Sartorti (2001) ainda diz que a velocidade de penetração da frente de carbonatação é função das fissurações e da permeabilidade do material, que está ligado diretamente com a relação a/c , como pode-se ver no quadro 4.

Quadro 4 - Penetração da frente de carbonatação em concreto de cimento Portland

| Cobrimento(mm) | Tempo de penetração em anos | | | | | |
|----------------|-----------------------------|----|------|------|------|------|
| | 5 | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 |
| Relação a/c | | | | | | |
| 0,45 | 19 | 78 | >100 | >100 | >100 | >100 |
| 0,50 | 6 | 25 | 56 | 99 | >100 | >100 |
| 0,55 | 3 | 12 | 27 | 49 | 76 | >100 |
| 0,60 | 1,8 | 7 | 16 | 29 | 45 | 65 |
| 0,65 | 1,5 | 6 | 13 | 23 | 36 | 52 |
| 0,70 | 1,2 | 5 | 11 | 19 | 30 | 43 |

(fonte: Sartorti, 2001)

Silva (1995) destaca a importância de um cura bem feita para diminuir a ocorrência de fissuras, dificultando a entrada de gás carbônico no concreto. Ainda completa que, se os poros do concreto estiverem cheios de água, não ocorre a difusão do gás carbônico, pois o CO_2 é pouco solúvel em água, do mesmo modo que, se os poros estiverem secos, não ocorre a ionização, logo a carbonatação será muito lenta.

Laner (2001) afirma que o CO_2 gasoso não é reativo, na realidade o agente agressivo é o ácido carbônico, resultante da reação do CO_2 presente no ar com a umidade. A carbonatação pode ser facilmente detectada através de ensaios com indicadores químicos de pH, entre eles, pode-se utilizar a fenolftaleína, que fica com uma coloração rosada quando o concreto está com um pH básico, indicando que não há carbonatação, quando não há mudança de coloração significa que ocorreu carbonatação. Pode-se observar na figura 15, a região carbonatada onde não está rosado, e a região que ainda não foi despassivada, na cor rosa.

Figura 15- Aplicação de fenolftaleína em uma superfície



(fonte: Pauletti, 2004)

4.3.2 Ataque de cloretos e sulfatos

Uma das funções do concreto é proteger a armadura com uma camada passiva, que impede sua corrosão. Entretanto, se o cobrimento não é suficiente ou se o concreto é muito poroso, a camada protetora pode ser rompida na presença de grandes quantidade de íons-cloreto.

A origem dos cloretos podem ser do próprio cimento utilizado, agregados mal lavados e também no sal de cozinha, existente em regiões marinhas(DNIT, 2010). Laner(2011) ainda diz que os íons Cl⁻ podem ser incorporados ao concreto através da utilização de aditivos aceleradores de pega, ou agregados contaminados pela água do mar.

Em geral, segundo Cánovas (1988), 1% de CaCl₂ em relação a massa de cimento já é considerado perigoso. E que em um concreto endurecido, com uma idade de 28 dias, a máxima concentração de íon Cl⁻, contando todos os constituintes, não deve ser superior a 0.15% em estruturas de concreto armado exposto a cloretos quando em serviço. Além de destruir a camada protetora, os íons cloretos não são consumidos nas reações e aumentam a condutividade do meio, intensificando a cinética da corrosão das armaduras.

Os sulfatos tem origem natural em águas freáticas, mas também podem se originar de efluente industriais e fertilizantes. Quando há o contato do sulfato de sódio, com o hidróxido de cálcio da pasta de cimento, junto com umidade suficiente para reação, ocorre um ataque químico, depositando uma parte como gesso e lixiviando grande parte do Ca(OH)₂, sendo que o Ca(OH)₂ ainda pode reagir com sulfato de magnésio, potássio e cálcio.(Laner, 2011)

De acordo com a NBR 6118:2014, tem-se os seguintes valores de cobrimento mínimo para diferentes classes de agressividade ambiental.

Quadro 5 - Correspondência entre classe de agressividade ambiental e o cobrimento nominal

| Tipo de estrutura | Componente ou elemento | Classe de agressividade ambiental | | | |
|---------------------|---|-----------------------------------|----|-----|----|
| | | I | II | III | IV |
| | | Cobrimento nominal (mm) | | | |
| Concreto armado | Laje | 20 | 25 | 35 | 45 |
| | Viga/Pilar | 25 | 30 | 40 | 50 |
| | Elementos estruturais em contato com o solo | 30 | | 40 | 50 |
| Concreto protendido | Laje | 25 | 30 | 40 | 50 |
| | Viga/Pilar | 30 | 35 | 45 | 55 |

(fonte: NBR 6118:2014)

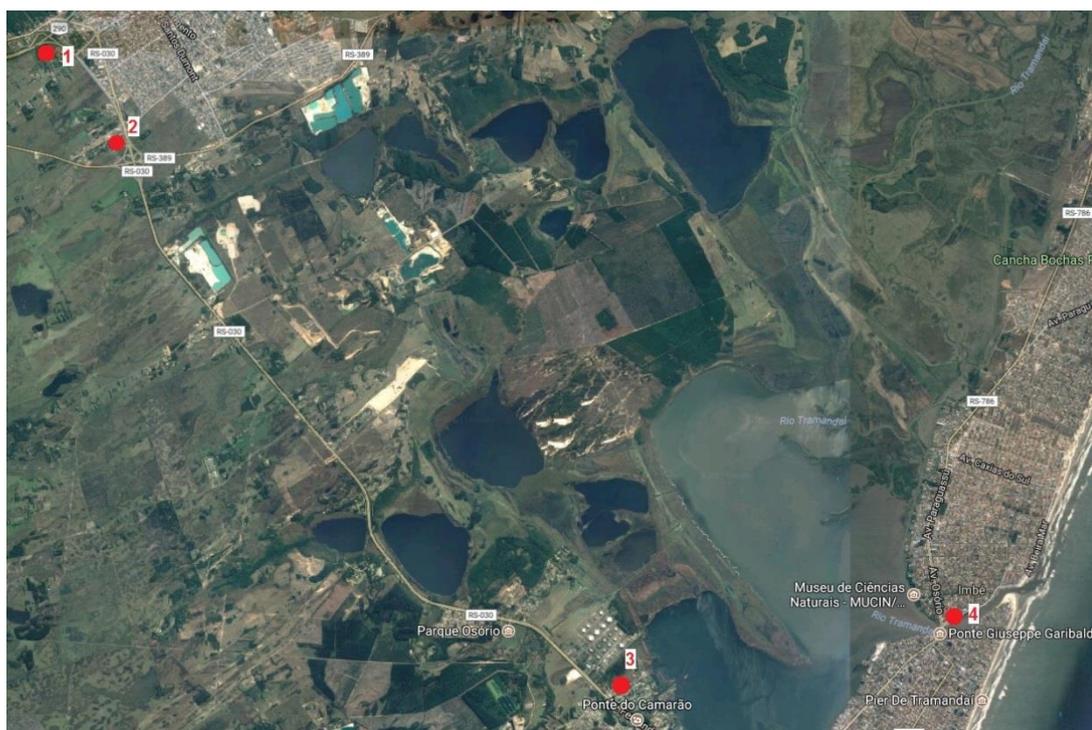
Não há um aumento de volume na reação entre o sulfato de cálcio e o hidróxido de cálcio, mas devido às diferenças de solubilidade do C3A e do gesso, forma-se etringita orientada acicular na superfície do C3A, ocasionando um aumento de volume, e simultaneamente o aumento de porosidade em algum outro ponto (Neville, 1997).

5 OBJETOS DE ESTUDO

Foram analisadas as manifestações patológicas de 4 obras de artes, sendo 2 pontes e 2 viadutos. A escolha das pontes e viadutos deu-se a partir da representatividade na região e do acesso para realizar os ensaios. Na figura abaixo, pode-se ver a localização aproximada de cada uma delas.

A escolha também se deve ao fato de ser possível analisar os efeitos causados pela proximidade do mar, já que o processo de oxidação dos metais tende a ocorrer de forma mais acelerada. Na figura 16, é possível observar a região onde se encontram as 4 construções escolhidas.

Figura 16 - Localização das pontes e viadutos abordados no trabalho



(fonte: adaptado google maps, 2017)

A seguir, estão descritas os objetos de estudo deste trabalho:

- a) Viaduto de acesso à BR-290, passando sobre a RS-030 e localizada no município de Osório, possui cerca de 30m de comprimento por 13,5m de largura (figura 17);

Figura 17 - Viaduto de acesso à BR-290



(fonte: google street view, 2017)

- b) Viaduto estrada do mar que passa pela RS-030, localizado em Osório, tem aproximadamente 50m de comprimento e 11m de largura (figura 18);

Figura 18 - Viaduto da estrada do mar em Osório



(fonte: google street view, 2017)

- c) Ponte do Camarão localizada no município de Tramandaí, na RS-030, se estende por mais de 25m (figura 19);

Figura 19 - Ponte do camarão



(fonte: google street view, 2017)

- d) Ponte Giuseppe Garibaldi – Com aproximadamente 150m de extensão, faz a união dos municípios Tramandaí e Imbé (figura 20).

Figura 20 - Ponte Giuseppe Garibaldi



(fonte: google street view, 2017)

6 METODOLOGIA DE AVALIAÇÃO

A avaliação das condições das pontes e viadutos de concreto foi realizada levando em conta as prescrições da NBR 9452 (ABNT, 2016), Vistoria de pontes e viadutos de concreto – procedimento, que especifica os requisitos exigíveis na realização de inspeções em pontes e viadutos e na apresentação dos resultados. Também foi utilizado como complemento o Manual de Recuperação de Pontes e Viadutos Rodoviários (DNIT, 2010) . De acordo com a norma, são citados 4 tipos de inspeções:

- a) inspeção cadastral: é a primeira a ser realizada na obra, e deve ser feita imediatamente após a conclusão, instalação ou assim que se integra a um sistema de monitoramento e acompanhamento viário. Também deve ser efetuada assim que houver alterações na configuração da obra, como mudança no sistema estrutural, alargamento, reforço. De acordo com a NBR 9452 (ABNT, 2016), essa inspeção deve conter registro fotográfico, informações do roteiro básico, desenhos esquemáticos da planta do tabuleiro e das seções típicas transversal e longitudinal, classificação da OAE (obra de arte especial) e demais informações consideradas importantes para a inspeção;
- b) inspeção rotineira: acompanhamento periódico, com ou sem o auxílio de equipamentos, realizado em prazo não superior a um ano. Nessa etapa deve ser verificada a evolução de anomalias já observadas em inspeções anteriores, assim como as novas ocorrências. Essa etapa deve conter informações básicas, como trecho inspecionado, classificação da OAE, comentários quanto a eventuais alterações do estado geral em relação à inspeção anterior, ficha de inspeção rotineira contendo registro de anomalias, registro fotográfico;
- c) inspeção especial: deve ter uma periodicidade de cinco anos, e para casos que a obra tem total acesso a seus elementos constituintes na inspeção rotineira, e de intervenção de longo prazo classificadas com 4 ou 5, a inspeção pode ser postergado para até oito anos;
- d) inspeção extraordinária: é gerada por alguma demanda não programada, como ocorrência de impacto de veículo, trem ou embarcação, eventos da natureza, como inundação, vendaval, sismo ou outros. Deve ser apresentada em relatório

específico, com descrição da obras e identificação das anomalias, incluindo mapeamento, terapia recomendada e documentação fotográfica.

6.1 VISTORIA

A abordagem realizada neste trabalho não se enquadra em uma característica de inspeção específica, entretanto, por não ter vistorias anteriores como base, possui parâmetros de inspeção cadastral. Por se tratar de um estudo de caráter acadêmico, com recursos limitados e sem possíveis intervenções, não foram levados em conta os projetos e documentos.

Depois de definidas as obras de arte especiais, foi feita a identificação da obra quanto ao tipo de utilização, localização e período de construção. A descrição da obra, seu sistema estrutural, comprimento, largura e características do uso, a característica da estrutura e sua análise, e o documentário fotográfico.

Além da inspeção visual, identificando qualquer manifestação patológica, também foi executado um ensaio de teste de pH com uma solução de fenolftaleína, avaliando as condições quanto à carbonatação do concreto mediante ambientes agressivos. Também foi realizado o ensaio de pacometria para saber se o cobrimento de armadura está de acordo com a NBR 6118:2014.

Amostras foram coletadas para fazer o ensaio qualitativo de sais solúveis na estrutura, quando possível, a extração era feita com o auxílio de uma furadeira, ou então era extraído uma amostra maior, e moída no laboratório.

6.1.1 Métodos de ensaio

6.1.1.1 Resistência à carbonatação

A determinação da profundidade de carbonatação através de um indicador químico de pH é o método mais difundido, devido a sua facilidade e baixo custo.

O indicador químico mais utilizado é a fenolftaleína, dissolvida em álcool etílico em uma solução a 1%. Segundo Andrade(1992), essa solução é incolor em Ph inferior a 8,3, para

valores de pH superiores a 9,5 torna-se o vermelho-carmim e entre 8 e 9,5 fica com a coloração variável de rosa a vermelho-carmim.

Primeiro foi escolhido uma região para análise, em seguida iniciou-se a escarificação e a aplicação de fenolftaleína, seguindo as recomendações, foi constatado se houve ou não carbonatação do concreto.

6.1.1.3 Pacometria

Com o objetivo de avaliar a armadura da estrutura, tanto o diâmetro, espessura da barra ou cobertura, foi realizado a pacometria, que é um ensaio não destrutivo executado com um pacômetro que funciona por indução magnética. Com isso pode-se ver se a estrutura foi executada de acordo com a ABNT NBR 6118 em vigor na época. Esse ensaio também é muito utilizado para prevenir o corte de armaduras quando forem realizadas extrações de corpos de prova na estrutura. O instrumento utilizado é o modelo Profoscope da marca Proceq com uma faixa de medição da camada de até 185m, conforme a figura 21.

Figura 21 - Pacômetro



(fonte: <http://www.directindustry.com/pt/prod/proceq/product-7242-416152.html>, 2018)

6.1.1.4 Teste qualitativo de sais solúveis

Esta análise visa identificar qualitativamente a presença de sais solúveis, um problema bastante comum em obras antigas e materiais porosos, principalmente cloreto(Cl⁻), nitrato (NO₃) e sulfato (NO₄). Com esta identificação, há a possibilidade de identificar a origem do

problema. A escolha dos sais analisados deu-se pela região em que as obras de arte especiais estão localizadas. Cloreto e sulfato por se tratar de uma região litorânea e com tráfego intenso de automóveis, e nitrato por ser próximo à locais de plantações, onde ocorrem o uso de fertilizantes.

Para a identificação dos sais, foram feitos os seguintes procedimentos conforme Sanjad (2002).

a) Nitrato:

- Foi colocado aproximadamente 10g de amostra seca e moída em um béquer de 100ml;
- Adicionou-se 80ml de água deionizada e agitou-se a mistura ;
- A mistura foi filtrada para um erlenmeyer;
- Se a solução estivesse turva, centrifuga-se por 15min;
- Em uma placa de toque, foi colocado um pouco do filtrado
- Adicionou-se três gotas do reativo 1% de difenilamina em ácido sulfúrico (H₂SO₄);
- Foi verificado se aparecia a coloração azul indicativa da presença de nitrato;
- Para comprovar que os reagentes utilizados não estavam contaminados, foi feito um teste em braco com água deionizada.

b) Cloreto:

- Colocou-se um pouco do filtrado do item anterior em um tubo de ensaio;
- Outro tubo foi usado para o teste em braco com água deionizada;
- Foi adicionado ao tubo três gotas de ácido nítrico (HNO₃) P.A;
- Também adicionou-se três gotas da solução de 1% de nitrato de prata (AgNO₃) em água deionizada;

- Foi verificado se aparecia um precipitado branco (turvação) em função da formação de cloreto de prata (AgCl), que indica a presença de cloreto;
 - Por fim compara-se com o ensaio em branco do outro tubo.
- c) Sulfato:
- Colocou-se um pouco do filtrado em um tubo de ensaio;
 - Usou-se outro tubo para o teste em branco com água deionizada;
 - Adicionou-se três gotas ao tubo de ácido clorídrico (HCl) P.A.;
 - Em seguida, foi adicionado três gotas da solução 5% de cloreto de bário (BaCl_2) em água deionizada;
 - Verificou-se se aparecia uma turvação que indica a presença de sulfato, ou seja, precipitado de sulfato de bário (BaSO_4);
 - Foi comparado com o ensaio em branco.

Na figura 22 pode-se ver todos os produtos que foram utilizadas para a realização do ensaio qualitativo.

Figura 22 - Produtos para o ensaio



(fonte: Autor, 2018)

7 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Neste capítulo, serão mostrados os resultados obtidos da visita e dos ensaios realizados nos objetos propostos.

7.1 PONTE GIUSEPPE GARIBALDI

A ponte Giuseppe Garibaldi é uma ponte em viga que faz a união dos municípios de Tramandaí e Imbé. Possui cerca de 140m de extensão e 4 faixas de tráfego rodoviário, a construção ocorreu por volta da década de 50 e está localizada sobre o rio Tramandaí, conforme é possível ver na figura 23.

Figura 23 - Ponte sobre o rio Tramandaí



(fonte: adaptado google maps, 2018)

Além da importância de unir os dois municípios, ela também é utilizada diariamente por pescadores da região, que obtêm sua fonte de renda através da pesca realizada sobre a ponte, como pode-se ver na figura 24.

Figura 24 - Pesca sobre a ponte Giuseppe Garibaldi



(fonte: <https://gauchazh.clicrbs.com.br/geral/noticia/2017/08/fotos-condicao-da-ponte-entre-tramandai-e-imbe-preocupa-moradores-9873662.html>, 2018)

A análise da ponte ocorreu nas duas extremidades do lado de cada município devido à possibilidade de acesso. O dia estava ensolarado e com baixa umidade.

Iniciou-se a vistoria do lado do município de Imbé, pois a maré estava baixa e era possível acessar a parte inferior da ponte, como pode-se ver na figura 25.

Figura 25 - Lado do município de Imbé



(fonte: Autor, 2018)

7.1.1 Análise visual

Foram observados diversos pontos em que o concreto estava bastante degradado, e partes da armadura da viga exposta, tanto a transversal, figura 26, quanto longitudinal, figura 27.

Figura 26 - Armadura transversal exposta



(fonte: Autor, 2018)

Figura 27 - Armadura longitudinal exposta



(fonte: Autor, 2018)

Da mesma forma, foi possível observar essa manifestação patológica na laje, figura 28, e nos pilares, figura 29, onde também pode-se notar a presença de eflorescência.

Figura 28 - Armadura exposta na laje da ponte



(fonte: Autor, 2018)

Figura 29 - Armadura exposta no pilar



(fonte: Autor, 2018)

A eflorescência ocorre quando há depósito de sais na superfície, e como também existem fissuras, a água consegue penetrar e lixiviar os compostos calcários mais facilmente.

Alguns pontos do parapeito também encontram-se danificados, pode-se ver diversos pontos sem concreto, e o aço parcialmente descoberto, como na figura 30.

Figura 30 - Parapeito deteriorado



(fonte: Autor, 2018)

Na parte superior, também encontra-se outras zonas em que a armadura da viga está comprometida, a região da figura 31 localiza-se aproximadamente no meio da ponte.

Figura 31 – Viga com armadura exposta



(fonte: Autor, 2018)

Também há sujidade devido à fuligem e vegetação crescendo entre a estrutura, indicando que a umidade está infiltrando nas juntas, conforme a figura 32.

Figura 32 - Vegetação na estrutura



(fonte: Autor, 2018)

Do lado de Tramandaí foi possível ver que a ponte estava muito mais comprometida, o concreto aparenta ser mais poroso, e está muito mais degradado. Nas figuras 33 e 34 pode-se ver que os estribos da viga estão oxidados, e que foram colocadas algumas escoras no local, porém foram apoiadas em uma base instável.

Figura 33 - Estribos expostos



(fonte: Autor, 2018)

Figura 34 - Escora apoiada em rocha



(fonte: Autor, 2018)

Na figura 35 encontra-se o caso mais crítico, pode-se ver que grande parte do aço está descoberto e totalmente oxidado, era possível quebra-lo com a mão. No estado que o concreto e a armadura se encontram, a capacidade estrutural dessa viga foi seriamente comprometida, e está muito crítico para fazer um reparo simples como uma pintura monocomponente à base de resina epóxi com zinco.

Figura 35 – Concreto e armadura deteriorados



(fonte: Autor, 2018)

7.1.2 Pacometria

Foi realizado o ensaio de pacometria em alguns pontos na viga da ponte, figura 36.

Figura 36 - Pacometria



(fonte: Autor, 2018)

No quadro 6, pode-se ver os resultados do cobrimento nos sete pontos analisados em cada lado. Os pontos localizam-se em vigas e pilares.

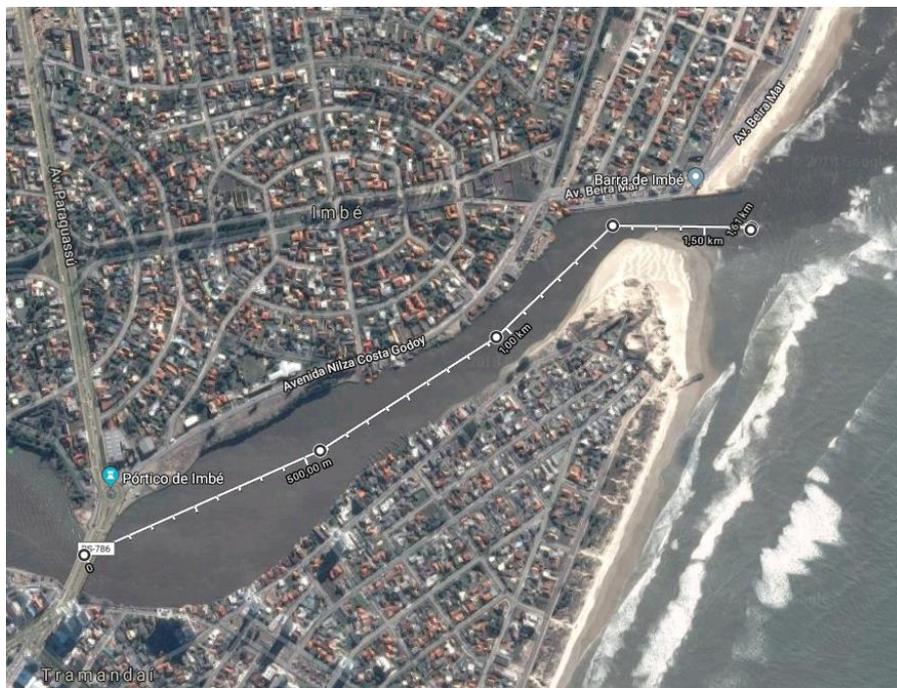
Quadro 6 - Pacometria

| Resultado do cobrimento de armadura através do pacômetro | | |
|--|------------------|---------------------|
| Ponto | Lado Imbé(Norte) | Lado Tramandaí(Sul) |
| | Cobrimento | |
| | (mm) | |
| 1 | 35 | 34 |
| 2 | 39 | 33 |
| 3 | 30 | 45 |
| 4 | 30 | 55 |
| 5 | 28 | 60 |
| 6 | 42 | 37 |
| 7 | 28 | 19 |

(fonte: Autor, 2018)

Na figura 37 pode-se ver que a foz do rio Tramandaí localiza-se a pouco mais de 1,5Km, fazendo com que a água dessa região seja salobra.

Figura 37 - Proximidade do mar



(fonte: adaptado google maps, 2018)

Com isso, considerando que a região seja classificada com uma classe de agressividade ambiental III, onde o cobrimento nominal mínimo para vigas e pilares é de 40mm, no lado de Imbé há apenas 1 local com cobrimento suficiente, e 3 pontos do lado de Tramandaí. Como não foi possível conferir os projetos, fica difícil de dizer se o cobrimento inadequado foi falha de execução, ou de projeto. Independentemente, a falta de proteção da armadura, principalmente em uma região com esse nível de agressividade, acaba gerando sérios problemas para a estrutura, pois os facilita a entrada de agentes agressivos.

7.1.3 Teste qualitativo de sais

Para o teste qualitativos de sais solúveis, foram coletadas amostras com uma furadeira, figura 38.

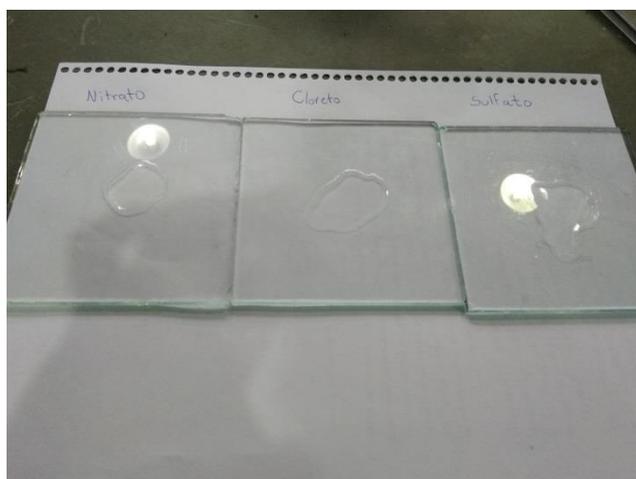
Figura 38 - Retirada de amostra



(fonte: Autor, 2018)

Primeiramente foi feito o teste em branco com água deionizada para verificar se não havia contaminação nos reagentes, os três testes não apresentaram alteração como é possível ver na figura 39, indicando que nada estava contaminado.

Figura 39 - Teste em branco



(fonte: Autor, 2018)

Na figura 40 pode-se ver as 10g da amostra retirada da ponte de Giuseppe Garibaldi que foi diluída em 80ml de água deionizada.

Figura 40 - Amostra da ponte Giuseppe Garibaldi



(fonte: Autor, 2018)

Após agitar a solução, filtrou-se para outro recipiente, figura 41, para eliminar todos os resíduos sobressalentes.

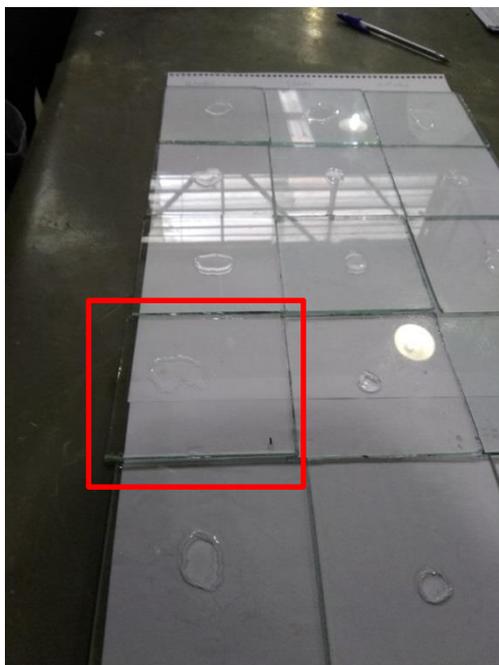
Figura 41 - Solução filtrada



(fonte: Autor, 2018)

Na figura 42 pode-se ver que a amostra não ficou com uma coloração azulada, portanto não foi constatado a presença de nitrato.

Figura 42 – Análise qualitativa de nitratos, ponte Giuseppe Garibaldi



(fonte: Autor, 2018)

Já no ensaio de cloretos, figura 43, pode-se ver que a amostra apresentou um precipitado branco (turvação) em função da formação de cloreto de prata (AgCl), que indica a presença de cloreto.

Figura 43- Análise qualitativa de cloretos, ponte Giuseppe Garibaldi

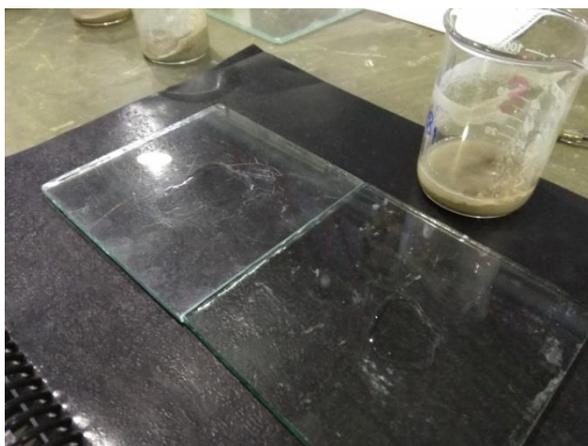


(fonte: Autor, 2018)

O teste comprovou o que já era esperado devido a localização que a estrutura se encontra, e o atual estado do concreto.

Por fim, no teste de sulfatos não ocorreu a formação do precipitado de sulfato de bário ($BaSO_4$), indicando que não foi encontrado sulfatos na estrutura, como pode-se ver na figura 44.

Figura 44 - Análise qualitativa de sulfatos, ponte Giuseppe Garibaldi



(fonte: Autor)

7.1.4 Carbonatação

Para a verificação da carbonatação, foi realizado o teste indicador de pH com uma solução de fenolftaleína, a figura 45 localiza-se na região menos comprometida, no lado de Imbé, e é possível ver que não ocorre a presença de carbonatação.

Figura 45 - Teste com fenolftaleína



(fonte: Autor, 2018)

No lado de Tramandaí pode-se observar na figura 46 que nem toda a região em que foi aplicada a solução está com uma coloração rosada, portanto a área está parcialmente carbonatada. Porém, essa parte carbonatada aparenta ser apenas a camada superficial, então a área no entorno da armadura continua garantindo a proteção necessária nesse quesito.

Figura 46 - Área carbonatada



(fonte: Autor, 2018)

Devido a situação precária que a ponte se encontra, o Departamento Autônomo de Estradas de Rodagem do Rio Grande do Sul (DAER-RS) já realizou alguns ensaios, e em janeiro de 2018 foi definida uma alteração no tráfego, no sentido Tramandaí – Imbé o limite era de 24 toneladas, agora a faixa do lado direito tem um limite de 12 toneladas, enquanto o esquerdo se mantém igual. Na figura 47 pode-se observar alguns dos locais que foram retiradas amostras e os locais que foi feito o ensaio de esclerometria.

Figura 47 - Ensaios DAER-RS



(fonte: Autor, 2018)

7.2 PONTE DO CAMARÃO

Localizada na RS-030 e com pouco menos de 30m, atravessa um trecho que faz a união da lagoa das Custódias e do Rio Tramandaí. Como também é possível ver na figura 48, na parte inferior há diversas residências, onde a maioria são de famílias de pescadores que trabalham nesse local.

Figura 48 - Ponte do camarão



(fonte: adaptado google maps, 2018)

7.2.1 Análise visual

A análise ocorreu na região onde há uma espécie de deck de madeira que os pescadores usam, figura 49.

Figura 49 - Local das análises



(fonte: Autor, 2018)

Foram observados alguns locais onde já não havia cobertura da armadura, figura 50, e um pilar que também está bastante danificado, figura 51, onde é possível ver que uma das barras está rompida.

Figura 50 - Armadura exposta



Figura 51 – Pilar com barras de aço expostas



(fonte: Autor, 2018)

Na figura 52 pode-se ver que o concreto em algumas partes das vigas está bem deteriorado, deixando a armadura exposta ao ambiente.

Figura 52 - Aço sem cobrimento



(fonte: Autor)

Devido a umidade e a falta de manutenção da estrutura, foi possível observar diversos pontos com vegetação crescendo no meio das juntas, como vê-se na figura 53 e figura 54.

Figura 53 – Vegetação e umidade



(fonte: Autor, 2018)

Figura 54 - Vegetação do meio da estrutura



(fonte: Autor, 2018)

7.2.2 Pacometria

A pacometria foi realizada em 7 pontos distintos nas vigas e pilares, os valores de cobrimentos foram de acordo com o quadro 7.

Quadro 7 - Pacometria ponte do camarão

| Resultado do cobrimento de armadura através do pacômetro | |
|--|------------------|
| Ponto | Ponte do camarão |
| | Cobrimento |
| | (mm) |
| 1 | 29 |
| 2 | 25 |
| 3 | 40 |
| 4 | 47 |
| 5 | 29 |
| 6 | 26 |
| 7 | 25 |

(fonte: Autor, 2018)

Segundo a NBR 6118:2014, considerando a região como classe de agressividade ambiental III, ou até mesmo II, apenas 2 valores estão com o cobrimento nominal mínimo. O que pode ser prejudicial à estrutura, pois as barras de aço ficam sujeitas às agressões do meio ambiente que podem corroê-las.

7.2.3 Teste qualitativo de sais

As amostras para o ensaio qualitativo de sais solúveis foram coletadas em 3 diferentes pontos, pelo menos as 10g para realizar de acordo com as recomendações, figura 55.

Figura 55 - Coleta de amostra



(fonte: Autor, 2018)

Após filtrar a solução de água deionizada com a amostra obtida, figura 56, foram realizados os mesmos procedimentos para verificar os três tipos de sais.

Figura 56 - Amostra 4 filtrada



(fonte: Autor, 2018)

Assim como na ponte de Tramandaí – Imbé, também não ocorreu a presença de nitratos na ponte do camarão.

Para os cloretos, após adicionar três gotas de ácido nítrico (HNO_3) e três da solução de 1% de nitrato de prata (AgNO_3) em água deionizada, não foi verificado o precipitado branco que ocorre em função da formação de cloreto de prata (AgCl). Portanto, não houve confirmação da presença de cloretos. Na figura 57 pode-se ver a placa de toque na esquerda com o teste, e do lado direito o teste em branco.

Figura 57 - Análise qualitativa de cloretos, Ponte do Camarão



(fonte: Autor, 2018)

Também não foi constatado a presença de sulfatos nessa amostra, pois não houve a precipitação de sulfato de bário (BaSO_4), figura 58.

Figura 58 - Análise qualitativa de sulfatos, Ponte do Camarão



(fonte: Autor, 2018)

7.2.4 Carbonatação

Após retirar a camada mais superficial, e aplicar a solução de fenolftaleína, foi constatado que não houve a carbonatação do concreto, figura 59. Apesar de ser um zona com um tráfego considerável, o entorno é aberto, fazendo com que seja difícil a entrada do ácido carbônico no concreto.

Figura 59 - Teste de carbonatação



(fonte: Autor, 2018)

7.3 VIADUTO DA ESTRADA DO MAR

Segundo o DAER, o viaduto sobre a RS-030 tem 50m de comprimento por 11m de largura, cada um dos dois sentidos possui duas pistas e localiza-se no município de Osório.

Na figura 60 pode-se ver que devido à dificuldade de acesso por causa da altura, na parte inferior da laje e nas vigas só foram feitas análises visuais.

Figura 60 - Viaduto da estrada do mar



(fonte: Autor, 2018)

7.3.1 Análise visual

Analisando os pilares foi possível ver que há locais que a armadura está exposta e foi passada apenas tinta por cima do local, figura 61.

Figura 61 - Armadura do pilar exposta



(fonte: Autor, 2018)

Como pode-se ver na figura 62, vegetação nas juntas da estrutura também foram detectadas nesse viaduto.

Figura 62 - Vegetação nas juntas do viaduto



(fonte: Autor, 2018)

Na figura 63 pode-se ver que em geral, as vigas e lajes encontram-se em bom estado, apresentado apenas uma sujidade já esperada pela liberação de gases dos automóveis, e algumas manchas brancas, que dão sinais de ser lixiviação.

Figura 63 - Eflorescência



(fonte: Autor, 2018)

Na parte superior, na pavimentação, pode-se ver nas figuras 64 e 65 que há avarias no asfalto, podendo ter sido ocasionadas pela movimentação do solo, e também há um desnível considerável na junta.

Figura 64 - Falha no pavimento



(fonte: Autor, 2018)

Figura 65 - Junta na pavimentação

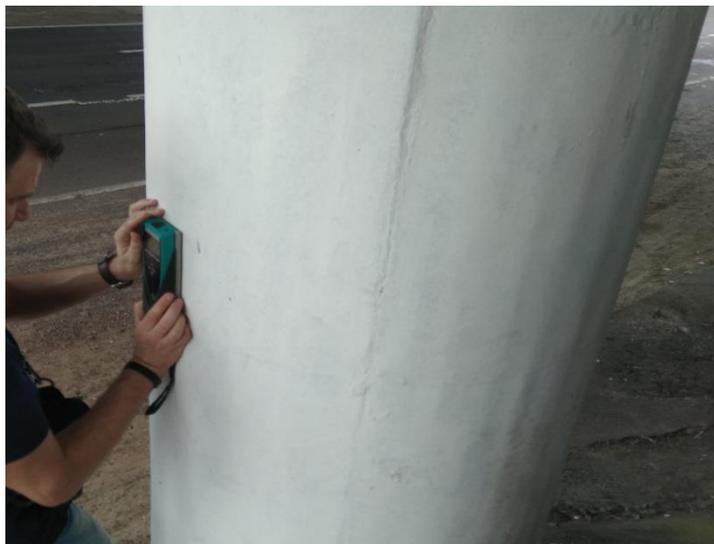


(fonte: Autor, 2018)

7.3.2 Pacometria

Todos os pontos escolhidos para realizar a pacometria foram em pilares, figura 66, devido ao acesso.

Figura 66 - Pilar analisado



(fonte: Autor, 2018)

No quadro 8 observa-se os valores dos 7 valores de cobrimento de armadura para cada um dos 2 pilares analisados.

Quadro 8 - Pacometria pilares do viaduto da estrada do mar

| Resultado do cobrimento de armadura através do pacômetro | | |
|--|------------------------|---------|
| Ponto | Viaduto estrada do mar | |
| | Cobrimento(mm) | |
| | Pilar 1 | Pilar 2 |
| 1 | 23 | 29 |
| 2 | 18 | 40 |
| 3 | 37 | 32 |
| 4 | 31 | 49 |
| 5 | 32 | 32 |
| 6 | 65 | 32 |
| 7 | 11 | 33 |

(fonte: Autor, 2018)

Considerando a região como classe de agressividade ambiental II, no pilar 1 pode-se ver 3 pontos abaixo do mínimo, e no pilar apenas 1 local onde o cobrimento foi inferior ao mínimo de 30mm.

Em alguns pontos que o estribo estava exposto, foi possível ver que a espessura de concreto estava com menos de 10mm. Essa região pode ser observada nas figuras 67 e 68.

Figura 67 - Armadura do pilar exposta



(fonte: Autor, 2018)

Figura 68 - Cobrimento armadura do pilar

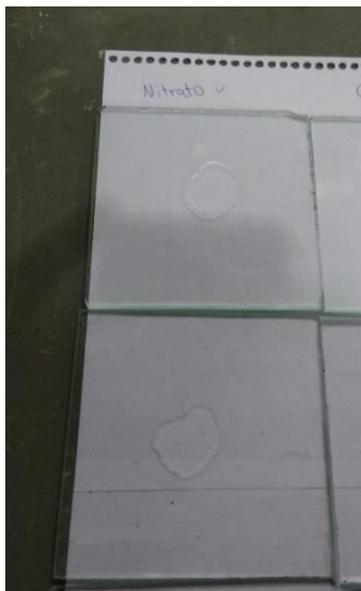


(fonte: Autor, 2018)

7.3.3 Teste qualitativo de sais

Após extrair a amostra, levar para o laboratório e realizar todos os procedimentos, não foi constatado a presença de nenhum dos três tipos de sais testados, todas as amostras ficaram exatamente iguais os testes em branco, pode-se conferir os resultados nas figuras 69, 70 e 71.

Figura 69 - Análise qualitativa de nitratos, Viaduto da estrada do mar



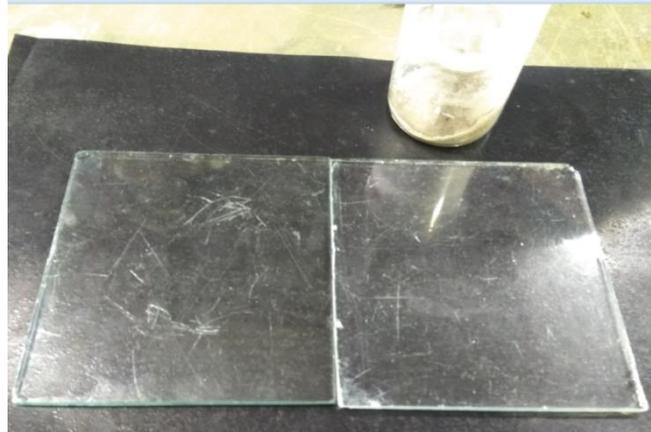
(fonte: Autor, 2018)

Figura 70 - Análise qualitativa de cloretos, Viaduto da estrada do mar



(fonte: Autor, 2018)

Figura 71 - Análise qualitativa de sulfatos, Viaduto da estrada do mar



(fonte: Autor, 2018)

7.3.4 Carbonatação

Devido à dificuldade de escarificar o concreto por causa da alta resistência, o teste foi realizado no mesmo ponto onde foi extraído a amostra para o teste de sais.

Nessa região, com cerca de 2cm de profundidade, como pode-se observar na figura 72, foi visto que ocorreu a carbonatação do concreto, fato que deve ser em função do grande tráfego de veículos.

Figura 72 - Teste de carbonatação viaduto da estrada do mar



(fonte: Autor, 2018)

7.4 VIADUTO NA BR-290

Localizado na BR 290 no município de Osório, na figura 73 pode-se ver o viaduto com 30m de comprimento por 13,5m de largura que atravessa a RS-030 com 2 faixas em cada um dos 2 sentidos.

Figura 73 - Viaduto de acesso à BR-290



(fonte: Autor, 2018)

7.4.1 Análise visual

Na superestrutura é possível ver danos causados por um veículo com altura superior a permitida, figura 74, apesar de que foi observado a existência da placa sinalizadora de altura máxima. Essa ação mecânica é um exemplo que pode ser considerado uma causa extrínseca, que independem do corpo estrutural.

Figura 74 - Danos causados por veículos



(fonte: Autor, 2018)

Na figura 75 também vê-se grandes fissuras que podem facilitar a entrada de água e agentes agressivos na estrutura.

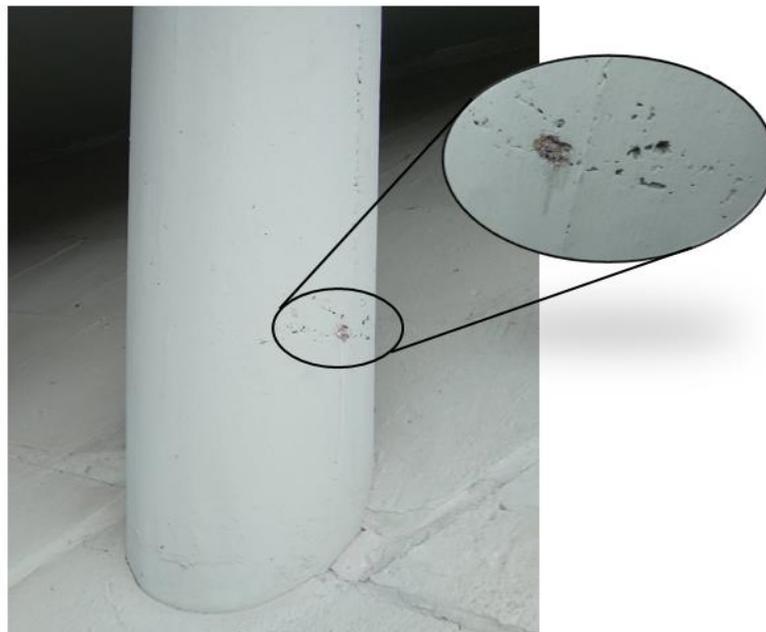
Figura 75 - Fissura na superestrutura



(fonte: Autor, 2018)

Alguns locais nos pilares com falhas de concretagem, como na figura 76, também foram encontrados. De acordo com Souza e Ripper (1998), essa falha humana é considerada como uma causa intrínseca.

Figura 76 - Falha de concretagem



(fonte: Autor, 2018)

7.4.2 Pacometria

Levando em consideração que a região é definida como classe de agressividade ambiental II, todos os pontos analisados, descritos no quadro 9, estão de acordo com a norma, que recomenda no mínimo 30mm.

Quadro 9 – Cobrimento de armadura no viaduto da BR-290

| Resultado do cobrimento de armadura através do pacômetro | | |
|--|----------------|---------|
| Ponto | Viaduto BR-290 | |
| | Cobrimento(mm) | |
| | Pilar 1 | Pilar 2 |
| 1 | 39 | 35 |
| 2 | 39 | 32 |
| 3 | 41 | 30 |
| 4 | 35 | 31 |
| 5 | 43 | 36 |
| 6 | 44 | 34 |
| 7 | 42 | 35 |

(fonte: Autor, 2018)

7.4.3 Teste qualitativo de sais

Para o teste qualitativo de sais começou-se constatando que não havia presença de nitrato. Em seguida foi adicionado o ácido nítrico e a solução de 1% de nitrato de prata, e também não foi constatado a existência de cloretos, figura 77.

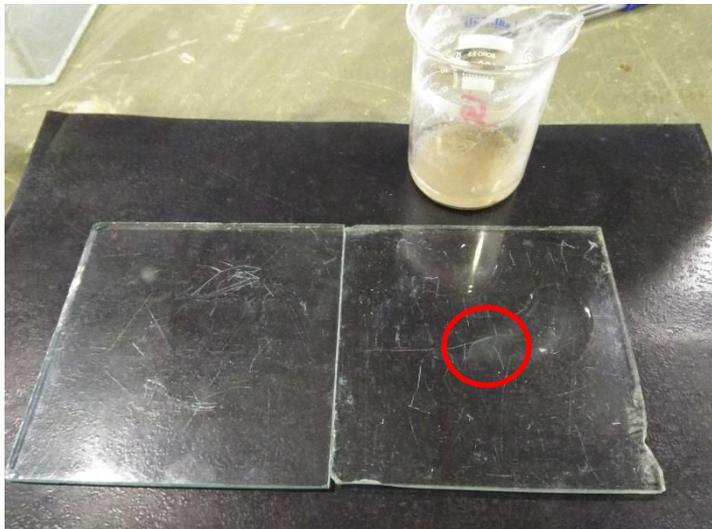
Figura 77 - Análise qualitativa de cloretos, Viaduto de acesso à BR-290



(fonte: Autor, 2018)

Por fim, pode-se ver na figura 78 que quando adicionado os reagentes para a verificação de sulfatos, a amostra ficou com o aspecto opaco, que indica a presença dos sais.

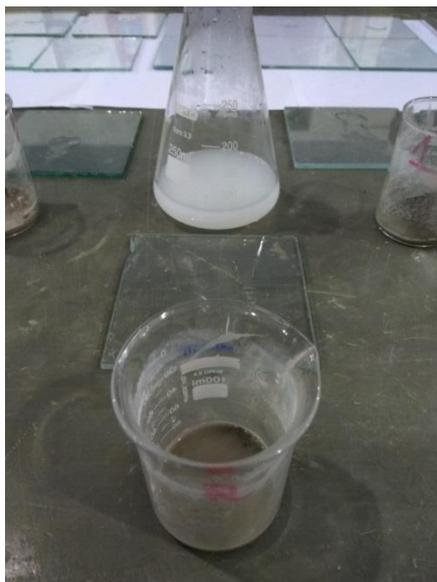
Figura 78 - Análise qualitativa de sulfatos, Viaduto de acesso à BR-290



(fonte: Autor, 2018)

Para confirmar, na figura 79 pode-se ver que quando adicionados os mesmos reagentes no balão de Erlenmeyer que comportava o restante da solução de água deionizada com o material extraído do viaduto, o resultado foi o mesmo.

Figura 79 - Confirmação da presença de sulfato na amostra



(fonte: Autor, 2018)

7.4.4 Carbonatação

Como pode-se ver nas figuras 80 e 81, após a aplicação da fenolftaleína o concreto apresentou a mesma coloração, indicando que a região se encontra carbonatada. Isso já era previsto devido ao fato do concreto apresentar algumas falhas de concretagem, e de ser uma região com bastante tráfego automotivo, conseqüentemente com muita liberação de gases provenientes da queima de combustível fóssil.

Figura 80 - Escarificação manual do local



(fonte: Autor, 2018)

Figura 81 - Aplicação de fenolftaleína

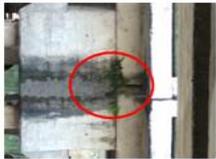


(fonte: Autor, 2018)

8 RESUMO DOS RESULTADOS

No quadro 10 pode-se ver o resumo de todas as manifestações patológicas encontradas nas obras de arte especiais analisadas.

Quadro 10 - Resumo das manifestações patológicas

| Elemento | Corrosão | Salis | | | Eflorescência | Materia orgânica | Carbonatação |
|---------------------------|---|---------|---------|---------|---|---|---|
| | | Cloreto | Sulfato | Nitrato | | | |
| Ponte Giuseppe Garibaldi |  | SIM | NÃO | NÃO |  |  |  |
| Ponte do camarão |  | NÃO | NÃO | NÃO | NÃO |  |  |
| Viaduto da estrada do mar |  | NÃO | NÃO | NÃO |  |  |  |
| Viaduro da BR-290 | NÃO | NÃO | SIM | NÃO | NÃO | NÃO |  |

(fonte: Autor, 2018)

8.1 PONTE GIUSEPPE GARIBALDI

Um ponto de grande relevância nesse trabalho deve-se à região que estão localizadas as OAE abordadas, em especial a ponte que faz a união das cidades de Tramandaí e Imbé. Por ser uma região litorânea com diversos agentes agressivos, somado ao fato do concreto aparentar ser bastante poroso, trouxeram consequências que foram possíveis de serem observadas na inspeção realizada nesse trabalho.

Foi possível encontrar diversos pontos onde não havia mais concreto protegendo a armadura, em alguns locais mais preocupantes algumas barras de aço já não tinham mais função estrutural, ou significativamente menos que inicialmente, pois estavam com uma corrosão generalizada. Com a oxidação da armadura, conseqüentemente o seu volume também aumenta, criando tensões internas que podem acabar destruindo o concreto em sua volta e expondo ainda mais o aço.

Como já era imaginado, após analisar no laboratório da universidade as amostras coletadas, foi constatado a presença de cloretos que podem ter origem seja através do ambiente marinho, ou mesmo da contaminação de um material usado no preparo do concreto, normalmente a areia. Esses ataques poderiam ter sido minimizados com diversas ações, entre elas a redução da relação água-cimento para diminuir a quantidade de poros, ou o uso de adições no preparo do concreto como a pozolana ou cinzas volantes que conferem uma maior impermeabilidade ao concreto. De acordo com Andrade (1992), os íons de cloretos tem a propriedade de destruir de forma pontual a capa passivante, que provoca uma corrosão conhecida como pite. Os cloretos podem chegar até a armadura através da rede de poros, e em ambientes marinhos ainda podem penetrar mais rapidamente por um mecanismo de transporte por forças capilares, junto com a “névoa salina” existente em climas marinhos quentes, onde os cloretos ficam suspensos nas gotículas de umidade do ar.

No teste para verificar se o concreto estava carbonatado, foi possível verificar que até mesmo uma região mais superficial não apresentou a redução do pH. Esse resultado é coerente por não se tratar de um local fechado como um túnel, onde o gás carbônico gerado pela queima de combustível fica confinado, e junto com a umidade acaba penetrando no concreto.

8.2 PONTE DO CAMARÃO

O acesso a essa ponte já foi um pouco mais restrito, pois a única parte que era possível de chegar sem embarcação era no encontro da ponte, mas mesmo assim foi possível analisar tanto a mesoestrutura, quanto a superestrutura. Só observando, foi possível ver que o concreto dessa obra de arte especial, quando comparado com a ponte Giuseppe Garibaldi, encontra-se em uma melhor situação. Também tem-se que levar em conta a diferença de agressividade do local, pois o rio que passa pela ponte do Camarão é de água doce.

Entretanto, há um pilar em que uma das barras de aço, que aparenta ser de 20mm, está rompida. Este pilar está completamente diferente dos outros, pode-se pressupor que uma pequena embarcação tenha colidido. Nota-se também que não há muita manutenção, apenas pintura na parte superior, nos guarda-corpos, e mesmo assim a armadura exposta é apenas pintada com a mesma tinta.

Também foi constatado que dos 7 pontos nas lajes e vigas que o cobrimento de armadura foi analisado, apenas 2 encontram-se com resultado satisfatório, considerando a zona como classe III, ou até mesmo II, de agressividade ambiental. Mesmo assim, como na ponte entre Tramandaí e Imbé, o teste de carbonatação não indicou a redução de pH do concreto.

No teste de sais, já no momento de extração da amostra foi percebido uma dificuldade maior para perfurar o concreto com a furadeira. Após a análise em laboratório, não foi encontrado nenhum dos três tipos de sais. Acredito que apesar dos ensaios terem dado negativo, não é possível afirmar que não há sais na estrutura, apenas que nessas amostras não foram encontradas.

8.3 VIADUTO DA ESTRADA DO MAR

Assim como já observado nas outras OAE, pode-se notar alguns locais nos pilares que a armadura transversal estava exposta, e como manutenção, foi passado apenas a mesma tinta branca que foi usada no restante do pilar.

Apesar de ver que o cobrimento de armadura nesse ponto em que o estribo estava exposto era cerca de 1cm, dos outros 14 locais analisados com o pacômetro, 4 ficaram abaixo do recomendado na NBR 6118:2014 para pilares e classe de agressividade ambiental II.

Também foram observados locais que a vegetação está crescendo entre a estrutura, assim como a laje, que apresenta uma coloração esbranquiçada, dando sinais de eflorescência. Na pavimentação do viaduto também há locais com problemas, parece ter ocorrido alguma movimentação de terra, fazendo com que o asfalto tenha quebrado e cedido um pouco. A carbonatação do concreto foi observada pelo menos até 2cm da superfície, mostrando que o CO_2 , junto com a umidade, conseguiu penetrar no concreto do viaduto.

Todos os testes qualitativos de sais realizados nessa estrutura deram negativos, para os cloretos, pode-se relacionar isso ao fato da estrutura estar a mais de 15km em linha reta do mar, em relação aos sulfato e nitrato, assim como apontado anteriormente, apesar de não ter sido constatado não pode-se afirmar de fato que não há.

8.4 VIADUTO DE ACESSO À BR-290

Na superestrutura foi possível observar alguns danos que foram causados por algum veículo com altura superior à permitida, assim como algumas fissuras grandes, próximas ao ralo de escoamento de água. Por mais que esses danos independem do corpo estrutural, medidas de reparos deveriam ter sido tomadas para evitar a degradação ainda maior do local.

No pilares pode-se observar algumas falhas de concretagem conhecidas como ninho de concretagem, esses locais podem facilitar a entrada de agentes agressivos e encurtam a distância que eles precisam percorrer até chegar na armadura. Nesse mesmo local após escarificar a região superficial, foi feito o teste com fenolftaleína e constatado que a região está carbonatada, pois assim como no viaduto anterior, o tráfego constante de veículos por cima e por baixo, liberam grandes quantidades de CO_2 .

Por outro lado, essa foi a única das OAE avaliadas que todos os pontos analisados com o pacômetro deram acima do recomendado pela norma.

No teste de sais foi constatado apenas a presença de sulfato, que de acordo com Sanjad(2002), pode ter origem do aerossol marinho; materiais como gesso e cimento usados erroneamente em restauração; microrganismos que sintetizam sulfatos; e principalmente através da poluição atmosférica, que possivelmente é a origem do sulfato nessa estrutura.

Em geral, esse último viaduto analisado parece estar em melhores condições que as demais OAE, fato que pode ser relacionado ao local, já que essa posição de Osório está cerca de 20km do litoral da cidade de Tramandaí.

9 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Após analisar todas as OAE, verificou-se que a maior incidência de manifestações patológicas ocorre devido a fatores externos, como intempéries de tempo e presença de água constante, mas um fato que chamou muita atenção, o que já era esperado, é a falta de manutenção das estruturas. Por mais que o ambiente em que uma ponte esteja localizada seja agressivo, a constante manutenção a fim de evitar danos mais sérios, como foi observado na Ponte Giuseppe Garibaldi, é imprescindível. A única intervenção observada foi pela estética, os locais foram apenas pintados para mascarar a real situação.

Todas essas obras tem grande importância para a região, por exemplo a ponte que liga Tramandaí e Imbé, ela diminui a distância entre as duas cidades em cerca de 48Km considerando que o outro acesso seria pela estrada do mar. Se ela tiver que ser interditada algum dia, o impacto para a economia da região, principalmente no verão, seria arrasador. Assim como a Ponte do Camarão, que é o único acesso pela RS-030 para chegar no município.

Também foi possível notar que a carbonatação foi mais recorrente nos viadutos, principalmente no que da acesso à BR-290, já que o tráfego de caminhões é muito intenso. Enquanto na Ponte Giuseppe Garibaldi foi encontrado cloreto, possivelmente por causa da salinidade do litoral, em um dos viadutos de Osório foi constatado a presença de sulfato, que pode ser proveniente da poluição.

É importante que as etapas de projeto e utilização de uma OAE do tipo ponte e viaduto sejam executadas de forma a maximizarem a eficiência, diminuindo a possibilidade do surgimento de manifestações patológicas que reduzem de forma significativa a vida útil da estrutura. O que foi observado é que, com a entrega da obra, estas pontes e viadutos foram esquecidos, permanecendo à mercê do tempo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE, Carmen. **Manual para diagnóstico de obras deterioradas por Corrosão de Armaduras**. São Paulo: Pini, 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118: Projeto de Estruturas de Concreto – procedimento**. Rio de Janeiro, 2014.

CASSAL, S.B. **Influência da Cinza de Casaca de Arroz na Resistência de Concreto à Ácidos**. dissertação de mestrado – Universidade do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2000.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA DE TRANSPORTES – DNIT. **Manual de Recuperação de Pontes e Viadutos Rodoviários**. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. Rio de Janeiro, 2010.

DUARTE, R.B. **Fissuras em alvenaria: causas principais, medidas preventivas e técnicas de recuperação**. Porto Alegre, 1998.

EL DEBS, Mounir khalil; TAKEYA, Toshiaki. **Introdução às Pontes de Concreto**. São Carlos, 2007.

HELENE, Paulo R. L.. **Manual Prático para Reparo e Reforço de Estruturas de Concreto**. São Paulo: Pini, 1988.

LANER, Felice José. **Manifestações Patológicas nos Viadutos, Pontes e Passarelas do Município de Porto Alegre**. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

LEONHARDT, Fritz. **Construções de Concreto – Princípios Básicos da Construção de Pontes de Concreto**. Rio de Janeiro, Interciência, 1979.

LESSA, Carlos. **15 anos de política econômica**. São Paulo: Brasiliense, 1983.

LOURENÇO, Líbia C.; ALVES, Vancler R.; JORDY, João C.; MENDES, Luiz C.; LOURENÇO, Mychael V. C.. **Parâmetros de Avaliação de Patologias em Obras-de-Arte Especiais**. Revista Engenharia Civil. Nº 34 p.5-14. Universidade do Minho. Portugal, 2009.

MEHTA, P. Kumar; MONTEIRO, Paulo J.M. **Concreto: Estrutura, Propriedades e Materiais**. Tradução de Paulo Helene et al. 1. ed. São Paulo, PINI, 1994.

NEVILLE, Adam Matthew. **Propriedades do Concreto**, 2º Ed. São Paulo: PINI, 1997.

PAULETTI, Cristiane. **Análise comparativa de procedimentos para ensaios acelerados de carbonatação**. Dissertação – Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.

PERDRIX, C.A. **Manual para Diagnóstico de Obras Deterioradas por Corrosão de Armaduras**. Trad. Carmona, Antonio; Helene, Paulo R. São Paulo: Pini, 1992.

PFEIL, Walter. **Pontes em Concreto Armado**. Rio de Janeiro: Livros técnicos e científicos, 1979.

SARTORTI, Artur Lenzi. **Identificação de patologias em pontes de vias urbanas e rurais no município de Campinas-SP**. Dissertação (mestrado) da Faculdade de Engenharia Civil da Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2008.

SOUZA, Vicente Custódio Moreira de; RIPPER, Thomas. **Patologia, Recuperação e Reforço de Estruturas de Concreto**. São Paulo: PINI, 1998.

SOUZA, M.T.. **Clínica geral. Erros de projeto, execução, materiais, uso**. Vale tudo. Construção São Paulo, 1991.

TIECHER, Francieli. **Reação álcali-agregado: avaliação do comportamento de agregados do sul do brasil quando se altera o cimento utilizado**. Dissertação (mestrado) da Universidade federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006.

TIECHER, Francieli; Dal Molin, Denise. **Álcali-agregado: uma reação que pode comprometer as estruturas de concreto**. Palestra sinduscon, Porto Alegre, 2009.

WANG, H. **Alkali-silica reaction: mechanism. Significance of chemical and mineral admixtures**, 330f. PhD (Thesis)-University of Calgary, Calgary, Alberta, Canada, 1990.