CBPAT 2020 ANAIS
CONGRESSO BRASILEIRO DE PATOLOGIA DAS CONSTRUÇÕES
DE 15 A 17 DE ABRIL | FORTALEZA - CE
http://dx.doi.org/10.4322/CBPAT.2020.271
ISBN 978-65-86819-05-2

ANÁLISE DA SEGURANÇA, DURABILIDADE E FUNCIONALIDADE DA PONTE SOBRE O RIO CAÍ NO MUNICÍPIO DE SÃO SEBASTIÃO DO CAÍ - ESTUDO DE CASO

M. DONADELLO
Graduando de Engenharia Civil
Universidade do vale do Rio dos Sinos
Rio Grande do Sul; Brasil
mdonadello@unisinos.br

H. Z. EHRENBRING
Doutorando de Engenharia Civil
Universidade do vale do Rio dos Sinos
Rio Grande do Sul; Brasil
hzamis@unisinos.br

S. BRAATZ
Graduanda de Engenharia Civil
Universidade do vale do Rio dos Sinos
Rio Grande do Sul; Brasil
sbraatz@unisinos.br

F. PACHECO
Doutoranda de Engenharia Civil
Universidade do vale do Rio dos Sinos
Rio Grande do Sul; Brasil
fernandapache@unisinos.br

M. MARQUES
Graduanda de Engenharia Civil
Universidade do vale do Rio dos Sinos
Rio Grande do Sul; Brasil
mariasmarques@unisinos.br

R. CHRIST
Doutor de Engenharia Civil
Universidade do vale do Rio dos Sinos
Rio Grande do Sul, Brasil
rchrist@unisinos.br

RESUMO
Constatou-se, no Brasil, que inúmeras obras de arte especiais (OAEs) não estão devidamente registradas. Assim, surge a possibilidade de não terem sofrido intervenções ou inspeções ao longo de sua vida útil. Ainda que muitas dessas OAEs estejam cadastradas, a inspeção e a manutenção rotineira são pouco realizadas. Os estudos e análises das manifestações patológicas em concreto armado evoluíram junto com a preocupação da durabilidade e funcionalidade das obras. Este artigo tem como objetivo analisar a segurança, durabilidade e funcionalidade da ponte sobre o Rio Caí no município de São Sebastião do Caí/RS. Seguiu-se os procedimentos apontados na norma NBR 9452 (ABNT, 2019). Foram realizadas anamnese da ponte, inspeção cadastral e especial indicando as manifestações patológicas, verificação da frente de carbonatação e apontamento das necessidades de reparo. Constatou-se que a principal manifestação patológica é a deterioração do pilar central desfavorável a correnteza do rio, ocasionada pela erosão, comprometendo a estabilidade estrutural da ponte, sendo essa classificada como ruim. A funcionalidade é regular devido a pista de rolamento de somente uma pista, falta de barreiras rígidas e guarda-corpo danificado. Em termos de durabilidade os resultados foram satisfatórios, pois a frente de carbonatação foi de apenas 3 mm nos elementos não danificados após 50 anos de sua execução.
Palavras-chave: Obras de arte especiais, inspeção de pontes, durabilidade.

ABSTRACT
It was found, in Brazil, that numerous structural constructions, such as bridges, are not properly registered. Thus, the possibility arises that they have not undergone interventions or inspections throughout their useful life. Although many of these constructions are registered, inspection and routine maintenance are poorly performed. The studies and analyzes of pathological manifestations in reinforced concrete have evolved along with the concern for the durability and functionality of the works. This article aims to analyze the safety, durability and functionality of the bridge over the river Caí in the city of São Sebastião do Caí / RS. The procedures indicated in the NBR 9452 standard (ABNT, 2019) were followed. Anamnesis of the bridge, cadastral and special inspection indicating pathological manifestations and verification of the carbonation front and identification of repair needs were carried out. It was found that the main pathological manifestation is the deterioration of the central pillar unfavorable to the river current, caused by erosion, compromising the structural stability of the bridge, which is classified as bad. Functionality is smooth due to the single-lane raceway, lack of rigid barriers and damaged railing. In terms of durability, the results were satisfactory, since the carbonation front was only 3 mm in the undamaged elements after 50 years of its execution.
Keywords: Special artwork, bridge inspection, durability.

1. INTRODUÇÃO
As estruturas de concreto armado têm como principal característica a capacidade portante, onde a combinação da resistência à compressão do concreto e a resistência à tração do aço podem garantir níveis elevados de segurança, além

ISBN 978-65-86819-05-2

de durabilidade, desde que contenham dimensionamento e execução satisfatórios. Este sistema construtivo é muito utilizado devido a disponibilidade dos materiais constituintes, facilidade de aplicação e as propriedades mecânicas dos seus elementos (MEHTA e MONTEIRO, 2014). Vayas e Lliopoulos (2014) complementam que o concreto armado é preferível para aplicação em pontes devido a possibilidade de seu uso em todos os elementos da estrutura.

Porém, a durabilidade das estruturas em concreto armado pode ser facilmente minorada. Considera-se durabilidade como o período relacionado a capacidade de um elemento ou sistema de preservar o seu desempenho, dadas as suas particularidades de ambientes de inserção, então é necessário um amplo conhecimento sobre as manifestações patológicas e manutenções correspondentes a este tipo de estrutura (BENÍTEZ et al. 2018). Medeiros et al. (2011) afirmaram que o conhecimento da durabilidade previne manifestações patológicas precoces, fundamental para evitar o aparecimento de fissuras, além de contribuir para a sustentabilidade e economia no setor da construção civil.

Estruturas de concreto armado são tecnicamente especificadas de acordo com a agressividade do meio ambiente, considerando as diferentes condições de exposição relacionadas ao ambiente da construção (PACHECO; CHRIST; TUTIKIAN, 2016). A NBR 6118 (ABNT, 2014) traz as exigências de composição do concreto para satisfazer a durabilidade. Euqueres (2011), citou que as estruturas em concreto armado, quando bem dimensionadas, executadas e utilizadas devem resistir, além da agressividade do ambiente, as ações mecânicas externas.

Para Mehta e Monteiro (2014) durabilidade é a capacidade que o concreto tem em resistir ao intemperismo, ataques químicos, abrasão ou qualquer outro processo de deterioração, conservando a sua capacidade, quando exposto ao meio ambiente. O termo durabilidade ganhou maior visibilidade nos últimos anos, se tornando uma questão mais discutida, ao se falar de estruturas em concreto armado. Segundo Medeiros et al. (2011), o estudo da durabilidade em estruturas de concreto armado tem evoluído devido ao maior conhecimento dos mecanismos de transporte de agentes agressivos na matriz do material.

Tratando-se de obras de arte especiais, Pacheco, Christ e Tutikian (2016) citam que a norma brasileira é vaga quanto a especificação da vida útil de pontes, salientando a importância da projeção de uma vida útil superior aos 100 anos das estruturas de concreto armado, visto a dificuldade logística de interrupções em casos de manutenções. Normas internacionais como, por exemplo, a BS 7543 (2015) específica 120 anos de vida útil mínima para obras de artes e edifícios públicos novos. Devida a falta ou até mesmo inexistência de manutenção em pontes, acrescido da tendência natural de deterioração considerando o ambiente propício, os danos patológicos são acelerados (CARDOSO, 2018).

É necessário inibir a corrosão do aço, que segundo Helene (2004) é a manifestação patológica principal nas estruturas de concreto armado. Figueiredo e Meira (2013) explicaram que o concreto oferece ao aço uma dupla proteção sendo essas, uma proteção contra corrosão, física que separa o aço do contato direto com o meio externo e uma proteção química que devido ao alto pH do concreto, promove a formação de uma película passivadora que envolverá o aço.

Para o caso específico de pontes situados em rios de água doce, o concreto armado precisa de uma matriz cimentícia com alta abrasão e resistência mecânica e baixa porosidade. Essas características são fundamentais, para que, além de manter sua capacidade portante, o concreto continue protegendo o aço, que depois de exposto pode comprometer a estrutura, ou seja, o aço apesar de fundamental, não oferece nenhuma ação protetiva ao concreto, enquanto o concreto precisa cumprir com sua finalidade e também proteger o aço.

O cobrimento mínimo em determinadas condições na NBR 6118 (ABNT, 1978) da armadura era de 05 mm, enquanto atualmente, tal norma NBR 6118 (ABNT, 2014) exige no mínimo 20 mm de cobrimento em obras situadas em ambientes com a menor classe de agressão, essa mudança reflete na atenção dada a relação entre o projeto e a vida útil de uma estrutura visando evitar algumas manifestações patológicas, como a corrosão, onde sabe-se que a qualidade e a espessura do cobrimento podem evitar a evolução do processo corrosivo.

No Brasil existem muitas (OAEs) com sua integridade comprometida, por diferentes manifestações patológicas. Grande parte dessas estruturas encontram sobre domínio de órgãos públicos. A NBR 9452 (ABNT, 2019) orienta os profissionais capacitados a fazer diferentes tipos de inspeção nas (OAEs). As inspeções são subdivididas em inspeções cadastral, rotineira, especial e extraordinária. A inspeção a ser realizada é indicada pelo contratante e pode ser indicado pelo profissional a necessidade de outra mais aprofundada. A inspeção cadastral é apenas visual sendo as outras cada vez mais críticas exigindo cada vez mais ensaios que determinam com maior precisão o estado atual da estrutura, necessidade de reparo e indicação do melhor reparo a se fazer.

ISBN 978-65-86819-05-2

A carbonatação, segundo Pauletti (2009) é um fenômeno físico-químico que acontece da reação entre o dióxido de carbono, presente na atmosfera e os produtos de hidratação do cimento. A penetração de CO_2, nos poros do concreto, irá reagir com o hidróxido de cálcio [$Ca(OH)_2$], formando o carbonato de cálcio ($CaCO_3$) (MAHEIRO et al., 2013). Esse processo reduz o potencial hidrogeniônico (pH) das estruturas, acelerando o ingresso dos íons cloretos conjuntamente com a água e o oxigênio, dando início a despassivação da armadura. Ainda para Pauletti (2009), entre os principais fatores que influenciam a velocidade de carbonatação estão as características dos materiais, sendo importante saber a relação água/cimento e as adições, e as condições ambientais como a temperatura e a umidade relativa. A falta de conhecimento e a dificuldade de execução de estruturas, principalmente em obras mais antigas, tornam a carbonatação uma das principais manifestações patológicas do concreto armado.

Ao se iniciar o processo de despassivação da armadura, a presença de cloretos poderá desencadear a corrosão. Segundo Pina (2009) os danos causados pela corrosão são: expansão da armadura (óxidos de ferro, gerados pela corrosão aumentam o volume do aço em trêz a dez vezes, fissurando o concreto), destacamento do recobrimento, perda de aderência e redução da seção da armadura.

Com o conceito de durabilidade ganhando maior ênfase nas últimas décadas, diversos modelos matemáticos de previsão de vida útil das estruturas vêm sendo estudados (HELENE, 1993). Segundo Possan (2010), Tuutti apresentou um dos primeiros trabalhos que demostrava uma curva de comportamento de estruturas *versus* à degradação ao longo do tempo, sendo relacionado à corrosão de armaduras.

Tuutti (1982) propôs um modelo simplificado, que se divide em dois estágios de degradação: iniciação e propagação. Berkowski e Kosior-Kazberuk (2017) citaram que o estágio da iniciação corresponde a fase em que agentes agressivos podem penetrar o cobrimento do concreto, chegando à película passivadora. O estágio de propagação corresponde a fase em que a degradação começa, onde os agentes agressivos chegam na armadura, iniciando o processo de corrosão.

Sabendo da inevitável carbonatação do concreto, devem ser levados em consideração os fatores que aceleram ou retardam a penetração de CO_2 no concreto. Os fatores que influenciam a carbonatação são: concentração de CO_2, umidade relativa, temperatura, relação água/cimento, teor de cimento, adições, aditivos, dimensão dos agregados, condições de cura, classe de resistência, grau de fissuração e geometria dos elementos (PINA, 2009).

O manual de inspeção de pontes rodoviárias do DNIT (2004) também cita como um dos processos de deterioração do concreto o desgaste da superfície, conhecido como erosão, que é causada pela correnteza dos rios, que sempre transportam partículas que se chocam contra o concreto, principalmente nos elementos tais como tubulões e pilares. Em caso de cheias, quando o leito do rio está com maior volume de água, a correnteza é capaz de transportar grandes sedimentos, que podem impactar contra a estrutura.

A NBR 9452 (ABNT, 2019) menciona a realização de ensaios complementares a inspeção cadastral, citando alguns possíveis ensaios, mas não se aprofundando nessa questão, sendo assim, com a pré-avaliação visual da ponte sobre o Rio Caí em São Sebastião do Cai viu-se a necessidade de ser realizada uma inspeção cadastral e especial, identificando as manifestações patológicas e verificando a profundidade de carbonatação em diferentes elementos da estrutura. A NBR 9452 (ABNT, 2019) também descreve a necessidade de ser realizada uma inspeção extraordinária após a ocorrência de impacto de veículo, trem ou embarcação, assim como, ocorrência de eventos de natureza, como inundação, vendaval, sismo e outros. Considerando o cenário, foi traçado um programa experimental que, de maneira consistente e coerente, fosse capaz de identificar e sugerir a reparações necessárias encontradas na ponte de estudo.

2. PROGRAMA EXPERIMENTAL

Após ser observada a necessidade de inspeção de uma OAE que já passou por diversas cheias e impactos de colisões de veículos, tendo essa mais de 50 anos, foi elaborado um programa experimental visando analisar a segurança estrutural, durabilidade e funcionalidade da OAE através de técnicas não destrutivas. Os dados da pesquisa tiveram como fonte o acervo da cidade e do Departamento Autônomo de Estradas de Rodagem (DAER), foram realizadas inspeção cadastral e especial com ensaio de frente de carbonatação, por meio da aspersão de solução de Fenolftaleína, a fim de cumprir com os requisitos do item 4.3 inspeção especial da NBR 9452 (ABNT, 2019). Também determinou-se a vida útil residual de alguns elementos da OAE.

ISBN 978-65-86819-05-2

2.1 Caracterização da OAE

2.1.1 Anamnese

A OAE inspecionada (Figura 1) é uma ponte de concreto armado do tipo viga pilar, localizada na ERS 124 km 0,29 na cidade de São Sebastião do Caí. A licitação foi concedida no dia 23 de novembro de 1966, sendo a estrutura inaugurada no dia 23 de setembro de 1970. O principal motivo de sua construção foi suprir a demanda da balsa que operava a 700 m da localização atual da OAE e fazia a ligação dos municípios de São Sebastião do Caí com Pareci Novo. Quando ocorriam as cheias a balsa era interditada impactando diretamente a sociedade e a economia dos municípios.



Figura 1 – Ponte sobre o rio Caí (código DAER 1125)

As enchentes foram recorrentes ao longo do tempo. No portal HidroWeb é possível analisar as cotas do Rio Cai durante todos os dias a partir de 1947, porém foram analisados os dados somente após a inauguração da ponte até 01/04/2019 (Figura 2). Segundo os dados do site do Serviço Geológico do Brasil – CPRM as cotas significativas do rio na cidade de São Sebastião do Caí são as informadas na Tabela 1.

Tabela 1 – Cotas significativas do Rio Caí na cidade de São Sebastião do Caí

Tipo de cota	Altura (cm)
Cota de atenção	≧ 500,0
Cota de alerta	≧ 700,0
Cota de inundação	≧ 1000,0

Fonte: Serviço geológico do Brasil - CPRM

A Figura 2 apresenta as cotas máximas do rio de cada mês dos anos de registro, as linhas representam as cotas significativas conforme Tabela 1.

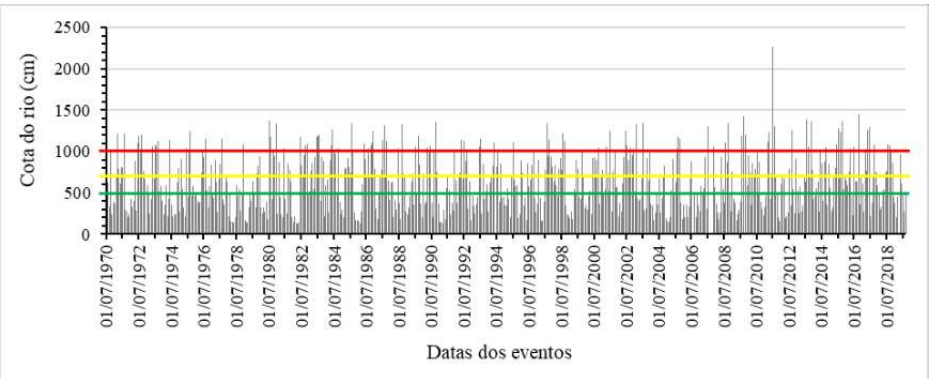


Figura 2 – Cotas máximas mensais de todos os anos de registro

Todas as cotas significativas representam inundação completa da infraestrutura (tubulões) e parciais da mesoestrutra (pilares), passando da metade da altura dos pilares na cota de inundação. No total, segundo os dados históricos, a ponte atingiu 2010 dias a cota de atenção, 927 dias a cota de alerta e 245 dias a cota de inundação. Foram analisados 17761

ISBN 978-65-86819-05-2

dias. Alguns impactos de colisões de veículos também já ocorreram, estes não danificaram elementos estruturais, porém foram causados por limitações da mesma, que é estreita (somente uma pista), não possui barreiras rígidas e por muitos anos foi mal sinalizada. O órgão responsável atualizou o cadastro da ponte no dia 14/11/2019, mas não especifica o que foi realizado. Em 2012 a estrutura inadequada fez a prefeitura e o DAER proibirem a passagem de caminhões pesados pela OAE (KLEIN, 2012). O autor aponta para o caráter progressivo das cheias e danos à mesoestrutura da OAE.

2.1.2 Inspeção cadastral

Através da inspeção cadastral, foram observadas todas as características da OAE para que fosse possível preencher o formulário da inspeção especial segundo a NBR 9452 (ABNT, 2019) e suas manifestações patológicas.

Em complemento, aos tipos de inspeção citados pela referida norma, Mitre (2005) relata que, na prática, as vistorias são classificadas como simplificadas e as inspeções com realização de algum ensaio são consideradas especiais ou detalhadas. Com o intuito de coletar dados sobre a OAE, realizou-se uma inspeção especial, cuja ficha encontra-se no anexo A. Para auxiliar na análise visual, utilizou-se um veículo aéreo não tripulado – VANT - (Figura 3) para auxiliar no monitoramento dos pontos críticos da ponte, bem como, um veículo apropriado para acessar a mesoestrutura. Disposto de tais recursos, fez-se uma inspeção cadastral buscando observar o estado dos elementos da OAE e de seus materiais.



Figura 3 VANT utilizado durante a inspeção

Detectados os pontos mais críticos, onde o concreto estava deteriorado e havia armadura exposta, executou-se o ensaio de determinação da profundidade de carbonatação, bem como em pontos na superfície, visando identificar aspectos de conservação e de durabilidade da OAE.

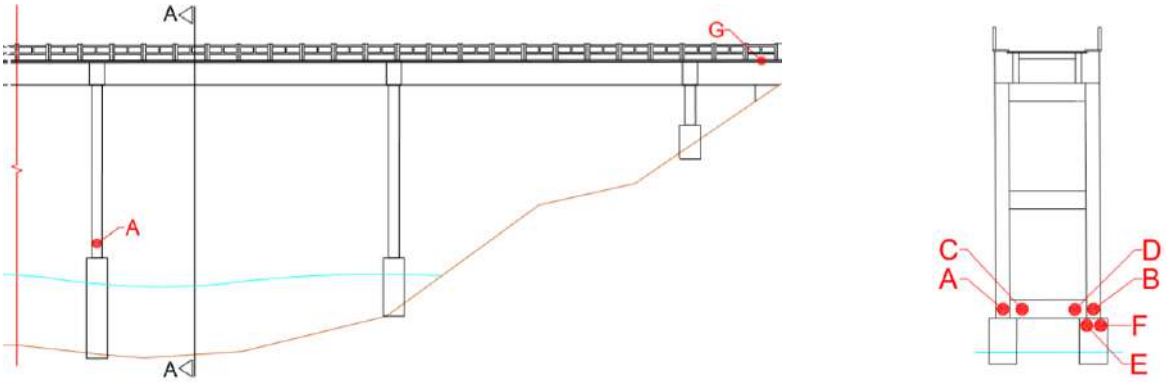
2.1.3 Profundidade de carbonatação

Para realizar o ensaio de determinação da profundidade de carbonatação utilizou-se, equipamentos para perfuração, uma solução indicadora colorimétrica de fenolftaleína e paquímetro. Após analisar visualmente os pontos mais críticos da estrutura da OAE, selecionou-se os locais para análise. Ao total, foram sete pontos, sendo um em cada pilar central (A e B), dois na viga transversina inferior central (C e D), dois nos tubulões (E e F) e um na laje em balanço (G), conforme representado no esquema em escala gráfica da Figura 4. Alguns desses pontos foram perfurados para então aplicar o indicador químico, enquanto outros mais críticos com concreto desplacado foram quebrados para melhor análise. Com auxílio de paquímetro, mediu-se a profundidade da camada carbonatada, e cobrimento da armadura dos locais examinados. Através desses dados foi possível determinar a vida útil da ponte utilizando o método de Tuuti (ver Equação 1). Com o resultado da equação subtraído pela idade atual da ponte, obteve-se a vida útil residual dela.

Equação 1 – Modelo de Tuutti: $X_{co2} = k_{co2} \times \sqrt{t}$

Onde: X_{co2} = é a profundidade de carbonatação do concreto em mm;
k_{co2} = é o coeficiente de carbonatação em mm/√ano;
t = idade em anos.

ISBN 978-65-86819-05-2



Vista lateral parcial Corte A. A.

Figura 4 – Disposição dos pontos analisados

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Caracterização da OAE

3.1.1 Inspeção cadastral

Com a inspeção cadastral foi possível detectar a inexistência de barreiras rígidas entre a pista de rolamento e as passarelas, provavelmente devido à falta de largura da ponte. Alguns módulos do guarda corpo estavam danificados, provavelmente devido ao impacto de colisões de veículos (ver Figura 5). Como destacado anteriormente, a largura limitada a uma pista de rolamento é uma causa de acidentes. A inexistência de barreiras rígidas, mantém o pedestre totalmente desprotegido, e os veículos podem cair facilmente da OAE, sendo o único elemento de segurança o guarda-corpo, que não possui resistência a impactos de veículos, ou seja, pequenos impactos prejudicam consideravelmente a integridade do elemento, segurança dos pedestres e motoristas.



Figura 5 – Guarda corpo danificado

Foram observadas também aberturas no asfalto na cabeceira da ponte indicando as movimentações de recalque. Essa manifestação é pouco visível devido a pavimentação nova colocada sobre a ponte em 2019. As movimentações de recalque podem estar ligadas as cheias do Rio Caí, que causa erosão nos taludes, mesmo assim não foram observadas movimentações que prejudiquem estruturalmente a OAE.

O pilar 5 que se encontra no centro da ponte e contra a correnteza do rio está deteriorado da sua parte inferior até o seu centro somente no lado diretamente exposto a correnteza, com armadura exposta e comprometida devido aos impactos de sedimentos que são transportados pelo rio nas cheias. Esse elemento teve sua base exposta ao fogo devido a pescadores da região que colocam fogo nas madeiras acumuladas nesse pilar. O concreto posterior a armadura nos pontos mais críticos emite som cavo e se desprende facilmente. A Figura 6 ilustra as condições do pilar. O tubulão abaixo do mesmo pilar encontra-se nas mesmas condições, degradado e exposto ao fogo.

ISBN 978-65-86819-05-2



Figura 6 – Pilar 5 central desfavorável a correnteza

Como causador da manifestação patológica Roque e Moreno Junior (2005) explicam em seu trabalho que a maioria dos processos físicos e químicos que podem afetar a durabilidade das estruturas de concreto estão relacionados a fatores como porosidade e fissuração do concreto, podendo ser intensivados através da pressão hidráulica e tensão à tração excessiva. Consequentemente a despassivação do concreto é acelerada, conforme Helene et al. (2018) a corrosão da armadura provoca o aparecimento de manchas, fissuras, destacamento de pedaços de concreto, perda de seção do aço e da aderência. Das características apontadas pelo autor, não foi diagnosticada somente o manchamento do concreto, sendo as partes mais escuras oriundas da exposição ao fogo.

A exposição ao fogo do concreto colabora para o desplacamento, pois existe uma forte tendência das camadas quentes da superfície se separarem das camadas mais frias do interior do elemento, sendo este fenômeno conhecido como spalling (BRITEZ; CARVALHO; HELENE, 2019). Os mesmos autores explicam, que geralmente, o concreto na porção mais exposta perde aproximadamente 25 % de sua resistência à compressão, quando expostos a um aquecimento de 300 ºC. Em temperaturas inferiores a pasta de cimento se expande, causando tensões internas. Os agregados são grandes influentes no comportamento da estrutura quando exposto ao fogo, na estrutura analisada estes eram de seixo rolado basáltico, que possuem comportamento estável até aproximadamente 900 °C segundo os mesmos autores. Visto que a estrutura foi exposta ao fogo derivado da combustão de madeira, Figueroa e Moraes 2009 demonstram em seu trabalho que em fase exotérmica a madeira atinge uma temperatura entre (280 e 380) °C.

A dimensão e quantidade de agregados no concreto chamou atenção, sendo estes agregados de seixo rolado basáltico, chegando a dimensões de 52,81 mm nas amostras coletadas. Os vergalhões não são nervurados, ou seja, barras lisas, os estribos não possuem distanciamento uniforme, estando em alguns pontos mais distantes que a normativa atual (ver Figura 7). Uma consequencia à durabilidade da estrutura no uso destes agregados graúdos é o maior acúmulo de água na zona de transição, o que pode diminuir a resistência do concreto e esse apresentar maior propensão a ação de agentes deletérios (MEHTA E MONTEIRO, 2014). No entanto, como apresenta-se no próximo tópico, essa análise destoa da frente de carbonatação obtida.



Figura 7 – Pilar 5 central desfavorável a correnteza

ISBN 978-65-86819-05-2

3.1.2 Profundidade de carbonatação

A profundidade de carbonatação encontrada difere nos pontos analisados, os quais encontram-se sinalizados na Figura 4. Para o cálculo de vida útil residual considerou-se um cobrimento de 28 mm mensurado na estrutura. A Tabela 2 expressa o resultado da análise.

Tabela 2 – Profundidade de carbonatação

Identificação	Elemento analisado	Resultado	Vida útil residual (anos)
A	Pilar 5	Armadura exposta, concreto desplacado e carbonatado em alguns pontos mais de 44,11 mm, na face oposta a frente é de 3 mm	Não determinado
B	Pilar 6	3 mm carbonatado	> 100
C e D	Viga transversina inferior central	3 mm carbonatada	> 100
E e F	Tubulão 6 central	1,51 mm carbonatado	> 100
G	Laje em balanço 2	3 mm carbonatada	> 100

Fonte: Elaborado pelo autor.

No pilar 5 não foi determinada a vida útil residual, visto que a erosão influencia diretamente na profundidade de carbonatação, pois a deterioração expõe partes mais internas do concreto, permitindo o alcance do CO_2. Com esses resultados fica evidente que a carbonatação do concreto da OAE não representa uma preocupação eminente nessa estrutura. Esse desempenho está diretamente ligado as condições de exposição e/ou ao fato do concreto utilizado possuir baixa porosidade. Percebeu-se que a profundidade de carbonatação na maioria dos elementos não danificados da OAE é de apenas 3mm, com ressalva do pilar central, cuja profundidade de carbonatação pode ultrapassar os 44 mm.

Nas Figuras 8 e 9 são apresentadas algumas amostras extraídas da ponte e descrição da localização na estrutura.



Fragmento extraído do canto superior do tubulão 4, localizado no centro da estrutura.



Ponto perfurado na borda lateral da laje em balanço 2.

Figura 8 - Análise de profundidade de carbonatação

ISBN 978-65-86819-05-2





Fragmento solto retirado da parte inferior do pilar 5, próximo ao tubulão, entre as armaduras. Totalmente carbonatado devido à exposição direta.

Figura 9: Análise da profundidade de carbonatação

4. CONCLUSÃO

Com as análises aqui apresentadas pode-se chegar nas seguintes conclusões:

1. Durante anamnese verificou-se que a prefeitura e o órgão responsável proibiram o tráfego de caminhões pesados para poupar esforços sobre a estrutura;
2. A Ponte de 50 anos sobre o Rio Caí já passou por mais de 245 dias de inundação, submetendo o pilar mais exposto a impactos dos sedimentos arrastados pela correnteza, deteriorando o concreto. O pilar está com a armadura exposta e o concreto posterior está desplacando, necessitando de reparo;
3. As condições ambientais e o concreto utilizado possuem boa compatibilidade, sendo resistentes a carbonatação, pois nos locais onde a matriz cimentícia está intacta a frente é de apenas 3 mm. A frente de carbonatação do concreto não é a manifestação patológica mais impactante na estrutura, visto que, ao calcular sua vida útil residual através do método de Tuutti, encontrou-se como resultado uma durabilidade de mais de 100 anos. Porém, a erosão está degradando o concreto e a armadura a uma taxa elevada, o que contribui para a diminuição da vida útil da estrutura, não sendo representativo o resultado do referido método;
4. A pista única de rolamento é perigosa e já causou diversos acidentes, contribuindo nos danos do guarda-corpo, não projetados para este fim, o que impacta na segurança dos usuários (motoristas e pedestres). É notada a falta de barreiras rígidas para proteção dos pedestres e maior segurança aos veículos que ali transitam.
5. Dadas as condições dos elementos da ponte, é notória a falta de manutenções na OAE, sendo necessária a intervenção para manutenção, devido a situação estrutural da OAE que recebeu nota 2 de uma máxima de 5, neste requisito.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 6118:2014**. Projeto de estruturas de concreto — Procedimento.** Rio de Janeiro, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 9452:2019**. Inspeção de pontes, viadutos e passarelas de concreto – Procedimento**. Rio de Janeiro, 2019.

BENÍTEZ, P.; RODRIGUES, F.; GAVILÁN, S.; VARUM, H.; COSTA, A. **Carbonated structures in Paraguay: Durability strategies for maintenance planning.** 14. ed. CINPAR, 2018.

BERKOWSKI, P.; KORSIOR-KAZBERUK, M. **Material and structural destruction of concrete elements in the industrial environment.** Procedia Eng. 2017, 172, 96–103.

BRITEZ, C., CARVALHO, M., HELENE, P. **Ações e efeitos deletérios do fogo em estruturas de concreto. Uma breve revisão**. Revista ALCONPAT, 10 (1), pp. 1 – 21, DOI: http://dx.doi.org/10.21041/ra.v10i1.421, (2020).

ISBN 978-65-86819-05-2

BRITISH STANDARD INSTITUTION. **Guide to durability, of building element, products and components BS 7543.** London, BSI, 2015.

CARDOSO, L. B. **Análise das manifestações patológicas em pontes e viadutos no litoral norte do Rio Grande do Sul.** 2018 (Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2018.

DEPARTMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA DE TRANSPORTES – DNIT. **Manual de inspeção de pontes rodoviárias.** Instituto de Pesquisas Rodoviárias. Rio de Janeiro, 2004.

EUQUERES, P. **Metodologia de inspeção em estruturas de pontes de concreto armado**. 2011. 168 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2011.

FIGUEIREDO, E. J. P.; MEIRA, G. **BT06 – Corrosão das armaduras das estruturas de concreto.** Mérida: ALCONPAT Internacional, 2013. 30 p.FIGUEROA, M. J. M.; MORAES, P. D. **Comportamento da madeira a temperaturas elevadas.** Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 9, n. 4, p. 157-174, out./dez. 2009.

HELENE, P. R. L. **Contribuição ao estudo da corrosão em armaduras de concreto armado.** 1993, 231f. Tese (Livre Docência) – Departamento de Engenharia Civil, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1993.

HELENE, P. **A Nova ABNT NBR 6118 e a Vida Útil das Estruturas de Concreto.** In: Seminário de Patologia das Construções, 2, 2004, Porto Alegre. Porto Alegre: Novos Materiais e Tecnologias Emergentes, LEME, UFRGS, 2004. v. 1. p. 1-30.

HELENE, P; SALES, A.; TUTIKIAN, B.; SOUZA, C. A. C.; ALMEIDA, F. C. R.; CUNHA, M. P. T.; LOURENCO, M. Z.; CASCUDO, O. **Corrosão e degradação em estruturas de concreto**. 2ª edição. In: Daniel Véras Ribeiro. (Org.). Corrosão e degradação em estruturas de concreto 2ª edição. 2ed.Rio de Janeiro: Elsevier, 2018, v. 2, p. 01-102.

KLEIN, R. **Solução viável para as enchentes no Caí.** Histórias do vale do rio caí, Disponível em: <http://historiasvalecai.blogspot.com/2012/01/1300-solucao-viavel-para-as-enchentes.html> Acesso em: 16/01/2020.

KLEIN, R. **725 - A ponte entre Caí e Harmonia.** Histórias do vale do rio caí, Disponível em: <http://historiasvalecai.blogspot.com/2009/11/725-ponte-entre-cai-e-harmonia.html> Acesso em: 16/01/2020.

MAHEIRO, Raphaele et al. **Análise de sensibilidade dos parâmetros de um modelo para previsão da profundidade de carbonatação e sua aplicação em estruturas reais.** In: Congresso internacional sobre patologia y recuperación de estruturas, 9., 2013, João Pessoa. Anais do IX Congresso Internacional Sobre Patología y Recuperación de Estruturas. João Pessoa: IB=FPB, 2013. p. 1-16.

MEDEIROS, M. H. F., ANDRADE, J. J. O., HELENE, P. **Durabilidade e Vida Útil das Estruturas de Concreto**. In: Geraldo C. Isaia. (Org.). Concreto: Ciência e Tecnologia. 1ed.São Paulo: IBRACON, 2011, v. I, p. 773-808.

MEHTA, P. K; MONTEIRO, P**. Concreto: Microestrutura, Propriedades e Materias**. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental da Universidade da Califórnia em Berkeley, Estados Unidos. 2014.

MITRE, M. P. **Metodologia para inspeção e diagnóstico de pontes e viadutos de concreto.** 2005. 148p. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Construção Civil. São Paulo, 2005.

ROQUE, J. A.; MORENO JUNIOR, A. L. **Considerações sobre vida útil do concreto.** 1º Encontro nacional de pesquisa-projeto-produção em concreto pré-moldado. São Paulo, 2005.

PACHECO, F.; CHRIST, R.; TUTIKIAN, B.F. **The role of concrete technology in improving long term bridge performance.** Maintenance, Monitoring, Safety, Risk and Resilience of Bridges and Bridge Networks – Taylor & Francis Group, London, 2016.

ISBN 978-65-86819-05-2

PAULETTI, C. **Estimativa da carbonatação natural de materiais cimentícios a partir de ensaios acelerados e de modelos de predição.** 2009. 285 f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.

PINA, F. B. C.; **Resistência à carbonatação de argamassas de reparação para estruturas em betão armado- Estudo de argamassas cimentícias e cimentícias modificadas com polímeros.** Mestrado em Engenharia Civil (Dissertação). Instituto Superior Técnico - Universidade Técnica de Lisboa, 2009.

POSSAN, E. **Modelagem da carbonatação e previsão de vida útil de estruturas de concreto armado em ambiente urbano.** 2010, 263f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Escola de Engenharia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Porto Alegre, 2010.

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL – CPRM. Disponível em: http://sace.cprm.gov.br/cai/#. Acesso em: 16/01/2020.

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÃO SOBRE RECURSOS HÍDRICOS. **HIDROWEB v3.1.1** Disponível em: < www.snirh.gov.br/hidroweb/serieshistóricas > Acesso em: 16/01/2020.

TUUTTI, K. **Corrosion of steel in concrete.** Stockholm: Swedish Cement and concrete Research Institute. 1982.

VAYAS, I.; LLIOPOULOS, A. **Design of steel concrete composite bridges to eurocodes.** Taylor & Fraancis Group, New York, 2014.

ANEXO A – Ficha de inspeção especial

Inspeção Cadastral(ano): 2020	OAE Código: 1125
Jurisdição (DNIT, Concessão ou outro): DAER	Data da inspeção: 11/01/2020
PARTE I – Síntese do relatório de patologia	
1 - Localização	
Rodovia ou município: São Sebastião do Caí	Sentido: Duplo
Obra: N/A	Localização (km ou endereço): 124ERS9020 KM 0,29
2 – Descrição da Obra	
Comprimento e largura	
Quantidade de vãos: 4	Comprimento total: 92 m
Pilares: 10 pilares com travessa de tubos pré-moldados sobre tubulões	Vigas: Duas vigas com travessas moldado in-loco
Largura total: 5,4 m	Juntas de dilatação: 0
Tipologia transversal da superestrutura: Duas vigas	Tipologia longitudinal da superestrutura: Bi-apoiada
Classe: Não informado	
Observação: N/A	
3 – Ensaios realizados	
Verificação da profundidade de carbonatação através de aspersão de Solução de Fenolftaleína (concentração de 1%)	
4 – Classificação da OAE (Ver seção 5)	
Estrutural: 2	Funcional: 3
Durabilidade: 4	
5 - Vistoria	
Data da vistoria: 11/01/2020- **Recursos de aproximação empregados:** Drone e embarcação.	

ISBN 978-65-86819-05-2

6 – Descrição das anomalias
Superestrutura
Laje superior: Não constatou-se manifestações patológicas
Vigas longarinas: Não constatou-se manifestações patológicas
Vigas transversinas: Não constatou-se manifestações patológicas
Mesoestrutura
Vigas travessas: Não constatou-se manifestações patológicas
Aparelho de apoio: Não constatou-se manifestações patológicas
Pilares: O pilar 5 que se encontra no centro da ponte e contra a correntesa do rio está deteriorado da sua parte inferior até o seu centro somente no lado diretamente exposto a correntesa, com armadura exposta e comprometida devido aos impactos de sedimentos que são transportados pelo rio nas cheias. O mesmo também foi exposto em sua base ao fogo devido a pescadores da região que colocam fogo nas madeiras acumuladas nesse pilar. O concreto após a armadura nos pontos mais críticos emite som de oco e a armadura encontra-se despassivada.
Infraestrutura
Blocos: O tubulão 5 que se encontra no centro da ponte e contra a correnteza do rio não foi possível avaliar totalmente devido a quantidade de sedimentos formando até mesmo uma ilha de terra ao seu redor, a parte superior visível apresentava sinais de deterioração somente no lado diretamente exposto a correntesa, com armadura exposta e comprometida devido aos impactos de sedimentos que são transportados pelo rio nas cheias. O mesmo também foi exposto em sua base ao fogo devido a pescadores da região que colocam fogo nas madeiras acumuladas nesse pilar.
Fundações: N/A
Encontro
Estruturas de encontro: Não há manifestações patológicas
Elementos complementares
Pavimento, sinalização e gabaritos: Asfalto com rachaduras na estrutura de encontro 2, sinalização em bom estado, gabaritos não existentes.
Passeios e guarda-corpo: Passeio em bom estado e guarda-corpo comprometido dado o impacto de colisões veiculares.
Barreiras rígidas/defensas metálicas: Barreiras rígidas não existentes e defensas metálicas de acesso em bom estado
Juntas: Não existente
Drenagem: Funcionando corretamente
PARTE II – Síntese do relatório de terapia
1 – Parecer técnico
A Ponte de 50 anos sobre o Rio Caí já passou por mais de 245 dias de inundação, danificando o pilar mais exposto a impactos dos sedimentos arrastados pela correnteza. O pilar está com a armadura exposta e o concreto posterior está desplacando, necessitando de reparo; O concreto utilizado tem baixa porosidade, pois nos locais intactos apresentou baixa profundidade de carbonatação; A pista única de rolamento é perigosa e já causou diversos acidentes; A prefeitura e o órgão responsável proibiram o tráfego de caminhões pesados para poupar esforços sobre a estrutura; É notada a falta de barreiras rígidas para proteção dos pedestres e maior segurança aos veículos que ali transitam.
2 – Resumo da análise estrutural (caso necessário)
N/A
3 – Proposição de restauração e/ou reforço
É necessário reparo e reforço no pilar 5 reestabelecendo a estabilidade e segurança. Deve-se repor um módulo de guarda-corpo.