ESTUDO DE CASO: MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS ENCONTRADAS NA PONTE SOBRE O RIO TOCANTINS-MUNICIPIO DE PORTO NACIONAL

ORNELAS, Flavio S.[1] MENDES, André Soares[2], SILVA, Thiago D. A.[3], BORJA, Edilberto V.[4]

[1] Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Tocantins/Campus Palmas, Professor, Especialista, e-mail: flavioornelas@ifto.edu.br
[2] Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Tocantins /Campus Palmas, Acadêmico, graduando, e-mail: andre.ifto@gmail.com
[3] Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins/Campus Palmas, Professor, mestre, e-mail: thiago@ifto.edu.br
[4] Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Rio grande do Norte/Campus Natal Central, Doutor, e-mail: edilberto.borja@ifrn.edu.br

RESUMO

A Ponte de Porto Nacional, atualmente encontra-se em processo de degradação, por décadas auxiliou no acesso terrestre e integração do Estado do Tocantins. Aparentemente sua vida útil está comprometida devido às evidências patológicas já existentes, podendo findar em ruínas. Este trabalho tem por objetivo, expor as diversas manifestações patológicas observadas por meio de um estudo exploratório, procurando diagnosticar as prováveis causas da tão precoce degradação. Neste sentido, foi desenvolvida uma investigação para identificar os problemas e fazer as recomendações necessárias para corrigi-las, dividido em etapas: apreciação de documentos e memoriais, inspeções locais e medições de variáveis de controle, identificação das ocorrências patológicas e sua associação com as suas eventuais causas. Durante as investigações e análise visual da ponte, foram observados diversos tipos de ocorrências, tais como o surgimento de fissuras nos pilares e nas vigas. Inicialmente, as fissuras observadas e as diversas reações deletérias, podem estar relacionadas com o fenômeno da Reação Álcali-Agregado. Foi possível registrar manifestações como deformações, eflorescências, exposição das armaduras (ausência da camada de cobrimento), manchas de coloração amarela escura e aberturas exageradas nas juntas de dilatação.

Palavras chave: manifestações patológicas; ponte; fissura, reação álcali-agregado.

ABSTRACT

The Bridge of Porto Nacional, currently is in the process of degradation for decades helped to land access and integration of the State of Tocantins. Apparently your life is compromised due to pathological evidence may already ending in ruins. This work aims to expose the various pathological manifestations observed by means of an exploratory study seeking to diagnose the probable causes of such an early degradation. In this sense, we developed a research to identify problems and make the necessary recommendations to correct them, divided into stages: assessment of memorials and documents, site inspections and measurements of control variables, identification of pathological events and their association with their possible causes. During investigations and visual analysis of the bridge, many types of events such as the appearance of cracks in the pillars and the beams were observed. Initially, the cracks observed and the various deleterious reactions may be related to the phenomenon of Alkali-Aggregate Reaction. It was possible to record events such as deformations, efflorescence, exposing the reinforcement (lack of concrete cover), patches of dark yellow and exaggerated openings in joints.

Keywords: pathological manifestations; bridge; cracking, alkali-aggregate reaction.

1. INTRODUÇÃO

Construída no ano de 1978, estrategicamente posicionada para impulsionar o desenvolvimento da região, a Ponte de Porto Nacional na década de 1990 foi também o principal acesso terrestre para a cidade de Palmas, capital do Estado do Tocantins, situada sobre o Rio Tocantins no município de Porto Nacional foi evidenciado em notícias, a existência de vários elementos fora da normalidade.

Este trabalho tem o objetivo expor estas ocorrências, que são manifestações patológicas observadas em estudo exploratório, relatando as mais prováveis causas de tão precoce degradação ao ponto da desistência pela preservação da mesma, optando-se pela substituição por outra nova. A partir de estudos e anúncios do Poder Executivo local, houve a motivação da pesquisa e o registro sobre os fatos que estão ocorrendo nesta.

Foi realizada a investigação destas manifestações patológicas através de uma coleta e reunião de dados e informações concernentes ao comportamento e as condições através de análises de documentos, levantamentos e observações.

O Estado do Tocantins, por ser o mais novo do Brasil, encontra-se em fase de construção de sua infraestrutura, composta por grandes obras de responsabilidade e durabilidade. Faz-se necessária a compreensão dos males que afetam as obras hoje para que nas próximas, possa-se minimizar a possibilidade destas ocorrências. O objetivo deste artigo é embasar técnicos e profissionais na área da construção civil para evitar tais manifestações patológicas nas posteriores obras do Estado.

2. HISTÓRICO E IDENTIFICAÇÃO DA PONTE

A Ponte localiza-se na TO-255 a 66 km de Palmas-TO no município de Porto Nacional, foi construída em 1978, onde anteriormente o principal acesso era o fluvial. Embarcações atravessavam o Estado transportando mercadorias entre Porto Nacional (TO) e Belém (PA). Sua construção foi um marco para o Estado de Goiás e após a separação entre os Estados, foi um dos principais acessos por terra para a cidade de Palmas a nova capital do Estado do Tocantins, o que viabilizou sua construção e desenvolvimento.

As normas vigentes na época exigiam que este tipo de obra tivesse vida útil não menor que cinquenta anos e até cem anos, no entanto, passados pouco mais de 35 anos da sua inauguração, a mesma demonstra que não chegará a esta idade de projeto devido a deterioração das peças estruturais como concreto e armaduras.

Em 2011, foi determinada uma interdição na ponte através de decreto n° 799 de 20 de setembro de 2011, devido aos apontamentos de um laudo encomendado pelo Estado, no entanto, atualmente a mesma está em utilização parcial com a liberação de veículos limitados a carga máxima de 30 toneladas e com passagem de um veículo por vez, conforme figura 1. A Agência de Máquinas e Transportes do Tocantins (Agetrans), responsável por esta intervenção no tráfego, determinou então, que estes veículos teriam que ir por outra rodovia

aumentando as distâncias para chegar ou sair dos Municípios de Palmas e Porto Nacional o que aumenta os custos de logística e de escoamento da produção agrícola.



Figura 1: Fiscalização da Agetrans para cargas acima de 30T.

Em agosto de 2013, foi noticiada pela imprensa local, que a ponte está condenada e que oferece riscos a motoristas e pedestres. Nesta mesma reportagem houve a exposição pelos órgãos competentes, informações retiradas de laudo preliminar das seguintes ocorrências: flechas exageradas nos balanços, fissuração de todas as lajes inferiores dos balanços, pilares fraturados (delaminação) e fissuras nos blocos de fundação e nas bases dos pilares.

A ponte é constituída de 08 vãos de 97,80m e 02 de 58,80m, o comprimento total é de 900m e o tabuleiro tem 13,40m. A ponte tem 10 trechos apoiados em 9 pilares e dois encontros, sendo que 8 trechos intermediários são formados por vigas isostáticas de 40m balanços de 28,90m de comprimento dos 9 pilares intermediários. A figura 2 mostra uma visão atual da ponte.



Figura 2: vista geral ponte.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

Para os diagnósticos das manifestações patológicas, houve embasamento em literaturas de autores e normas do DENIT e ABNT, conforme cada anormalidade constatada.

3.1 Verificações aos Estados Limites de Serviço (ELS)

Foram tomados como objeto de verificação da obra, os Estados Limites de Serviço que conforme CLÍMACO (2005), são aqueles relacionados à durabilidade da estrutura e à boa utilização, funcionalidade e aparência.

Os ELS são caracterizados por tensões de compressão no concreto excessivas, produzindo deformações irreversíveis e microfissuras que possam levar a perda da durabilidade. No projeto de estruturas de concreto armado das edificações, são objetos de verificação comum:

- Fissuração excessiva que afete de forma adversa a aparência, a durabilidade ou as condições de estanqueidade;

- Deslocamentos que causem prejuízo à aparência ou ao uso efetivo da edificação ou danos inaceitáveis em outros elementos, estruturais ou não, da construção;

- Vibrações resultando em desconforto, alarme ou perda de funcionalidade.

Diante de tais verificações procuramos identificar as manifestações patológicas e as causas. Um ELS de desconforto visual causado por deslocamento pode ser observado na figura 3.



Figura 3: Encontro de balanços com abertura na junta de dilatação e eflorescências - Fonte: g1.globo.com

3.2 Origem das trincas e fissuras

A norma DNIT 090/2006, descreve as condições de fissuração devida a gradientes normais de temperatura e umidade, onde sempre que as mudanças de volume nos elementos de concreto,

causadas por gradientes de temperatura e umidade, provocam tensões de tração superiores às admissíveis, poderá haver o aparecimento de fissuras de origem física.

CLÍMACO 2005, referência que o estado limite de serviço caracterizado por excessivas tensões de compressão no concreto, produz deformações irreversíveis e microfissuras.

As Reações álcali-agregado são grandes responsáveis por fissuras e trincas conforme descreve o Manual de Recuperação de Pontes e Viadutos Rodoviários do DNIT. Uma forma, que atualmente é menos frequente, de expansão do concreto com aparecimento de trincas, pode ocorrer em ambientes úmidos, como consequência de reações de certos tipos de sílica e carbonatos, existentes em alguns agregados, com os álcalis do cimento. RIBEIRO & CUNHA 2013, descreve que estas reações são de caráter fortemente expansivo, levando ao desenvolvimento de tensões internas no concreto e consequente fissuração, frequentemente acompanhadas do aparecimento de eflorescências e exsudações na superfície do concreto.

3.3 A influência de agregados na resistência de concretos

Conforme PETRUTI (1971), os agregados graúdos interferem na trabalhabilidade e resistência do concreto. Em seu livro, comenta que este tipo de obra determina os agregados que devem ser utilizados e que agregados como o seixo que tem formas arredondadas oferece menor aderência à argamassa que a envolve o que resultará em concretos menos resistentes, pois a parte mais débil é a ligação entre argamassa e agregado. O mesmo autor ainda desaconselha a utilização para concretos de pavimentação. Estes argumentos sugerem a não utilização do seixo em concretos de obras de responsabilidade ou cargas dinâmicas.

3.4 Influência do Fator água/cimento, permeabilidade e porosidade

No fator água/cimento quanto menor for esta relação, maior será a resistência do concreto. De acordo com a característica do agregado pode ser necessário uma maior quantidade de água para ter a consistência e trabalhabilidade desejadas. Eventuais mudanças no traço como aumento na relação água/cimento e troca de agregados, podem influenciar na redução da resistência mecânica.

A porosidade tem influência direta na permeabilidade de concretos, caso os poros estejam interligados, e também quanto maior a quantidade, menor será a resistência e durabilidade do concreto. Tais vazios são causados pelo fator água/cimento e por defeitos de compactação ou exsudação.

3.5 Influência da Reação Alcali-agregado (RAA)

O fenômeno da RAA foi descrito a mais de 70 anos por Stanton, que identificou o processo como sendo uma reação deletéria causada pela expansão de um gel gerado pela sílica reativa dos agregados e os álcalis do cimento, cuja manifestação é capaz de causar fissuras em forma de “mapa”, pipocamento e exsudação de um fluído viscoso sílico-alcalino (MEHTA e MONTEIRO, 2008). A reação álcali-agregado é a reação química que ocorre em uma estrutura de concreto entre os íons hidroxilas (OH-), íons alcalinos (Na+ e K+) e alguns minerais reativos presentes no agregado. Os álcalis são fornecidos principalmente pelo

cimento Portland, mas também podem ter origem na água de amassamento, pozolanas, aditivos, agentes externos e nas próprias rochas usadas como agregados.

RIBEIRO & CUNHA 2013, descreve no livro Corrosão em estruturas de concreto armado, que a RAA são reações químicas que se desenvolvem entre constituintes reativos dos agregados e íons alcalinos e hidroxilos presentes na solução intersticial da pasta de cimento, podendo ter um efeito altamente prejudicial para o concreto.

As possibilidades de reforços ou reparos em estruturas com ocorrência do RAA, visando garantir sua utilização e prolongamento da vida útil é descartado, conforme o DNIT através da NT 90, ao informar que grandes estruturas, barragens principalmente, estão irremediavelmente condenadas ao colapso, apesar de extensas e intermitentes intervenções.

3.6 Carbonatação do concreto

Conforme o Manual de Recuperação de Pontes e Viadutos Rodoviários do DNIT, este fenômeno ocorre quanto o dióxido de carbono reage com o hidróxido de cálcio [Ca (OH)2] existente na argamassa do concreto, provocando, eventualmente, um decréscimo crítico na alcalinidade; o valor do pH cai, de 13 para um valor em torno de 9, que, normalmente é insuficiente para proteger a armadura contra a corrosão; a profundidade da carbonatação aumenta com o tempo e as armaduras deixam de estar passivadas. É um dano difícil de ser visualizado numa inspeção. Para ser detectado faz-se necessário o uso de um ensaio simples, com a aplicação de fenolftaleína com indicador na superfície recém fraturada do concreto. A parte do concreto carbonatada fica incolor (pH < 9) e a parte não carbonatada adquire a cor vermelha – carmim.

3.7 Corrosão de armaduras

A oxidação é um ataque promovido por uma reação gás-metal, com formação de uma película de óxido e não provoca deterioração substancial das superfícies metálicas, exceto se existirem gases extremamente agressivos na atmosfera que o caso da possível associação com o CO2 (dióxido de carbono) que pode promover a carbonatação. Já a corrosão eletroquímica pode formar pilhas ou cadeias de micropilhas que também promove oxidação e formação de óxido / hidróxido de ferro (ferrugem) que pode ser expansivo e promover tensões de tração e causar degradação do concreto.

A corrosão química e a eletroquímica, doa elétrons a alguma substância oxidante existente no meio ambiente formando óxidos ou hidróxidos, mas na corrosão química os elétrons perdidos se combinam no mesmo local onde são produzidos enquanto na eletroquímica os elementos são liberados num local e capturados em outro, há um circuito galvânico (VERÇOZA 1987).

4. METODOLOGIA

O presente trabalho buscou estabelecer possíveis fatores determinantes para as manifestações patológicas e diagnosticar, ao máximo possível, estas ocorrências. A durabilidade do concreto

é definida pela sua capacidade de resistir às intempéries, ataques de agentes químicos, abrasão e outros processos de deterioração.

Foram realizadas vistorias na ponte, em diligências e oportunidades diversas. Não houve a retirada de amostras ou testemunhos para ensaios destrutivos, registrou-se apenas a situação da obra por meio de fotografias, devido haver limitações com autorizações.

O desconhecimento das características da obra executada quando ainda era Estado de Goiás, impossibilitou a disponibilidade de documentos nos órgãos responsáveis do Tocantins.

Com o intuito de documentar as anormalidades presentes e caracterizá-las, os diagnósticos foram comparados e embasados com as informações retiradas de literaturas.

5. MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS IDENTIFICADAS

Foram buscadas identificação das manifestações patológicas, ressaltando as informações da condenação da ponte e de processos para projeto e construção de outra nova. Os estudos ficaram concentrados na degradação do concreto e aço que correspondem à estrutura desta.

5.1 Fissuras

As fissuras e trincas podem ter várias origens, na ponte, foram encontrados diversos tipos e quadros. O Estado do Tocantins e nesta região específica, têm características de clima tropical de altas temperaturas e reduções bruscas destas, onde pode ocorrer a variação volumétrica do concreto o que é um grande causador de fissuras de origem física. Outro grande contribuinte para estas deformidades podem ser as cargas cíclicas e sobrecargas excessivas que ultrapassam as deformações previstas. Também a reação alcali-agregado é responsável pelo surgimento de microfissuras e até trincas.

As fissuras funcionam como portas abertas para entrada de agentes agressivos e desta forma contribuem para a percolação da umidade que os carregam para dentro do concreto deixando de ter efeitos apenas superficiais, como podemos observar esta ocorrência a referida obra conforme figura 4.



Figura 4: Fissuras e trincas na parte superior do tabuleiro.

5.1 Deformações

As deformações ao longo da ponte foram observadas como consequência pela flexão em vigas. Na figura 5, as setas em vermelho indicam a deformação da ponte. Este fato causou abertura da junta de dilatação e alterou a forma de vinculação interna - encaixe Gueber. Neste local a rotação da seção ultrapassa o limite aceitável, acarretando desta forma, uma redistribuição de esforços internos.



Figura 5: Acréscimo de deformação nas longarinas da ponte causada pela flexão ao longo dos vão.

A concentração inapropriada de cargas impulsiona a formação de fissuras nestes apoios e nas bases das vigas. A figura 6 mostra rotações nos vínculos causadas pela flexão em vigas entre os apoios.



Figura 6: Abertura excessiva na junta de dilatação.
Fonte: Adaptado do site: http://globotv.globo.com/para-assinantes/extra-hd/v/agetrans-afirma-que-ponte-em-porto-nacional-nao-oferece-risco-aos-motoristas/2743454/

Sobre a ponte, são observadas deformações fora da normalidade no momento de passagem de veículos pesados, inclusive aberturas excessivas das juntas de movimentação e trincas próximas a estas, conforme apresentado na figura 7.



Figura 7: Aberturas excessivas das juntas de movimentação e trincas.

5.2 Falhas e corrosão do concreto estrutural

Dentre as principais características buscadas no concreto para este tipo de obra, a resistência mecânica, a resistência aos agentes agressivos e a durabilidade, merecem um destaque. Evidentemente a primeira característica é de fundamental importância para a garantia das demais. Considerado a influência dos ninchos de concretagem, trincas, porosidade do concreto, corrosão das armaduras facilitada pela sua exposição, a resistência do concreto pode ser comprometida em várias peças estruturais.

A variação entre o tipo de agregado utilizado na obra, morfologia, texturas, porosidades, também podem ser fonte desta incerteza. É importante, para os cálculos de dosagem do concreto, que não haja esta variação e este fator indica que não houve controle tecnológico adequado destes materiais utilizados, visto que para dosagens de concretos além da consistência, o tipo de agregado determina índices fundamentais como quantidade de pasta a ser utilizada.

Este forte indício foi observado em alguns agregados porosos, rompidos juntos com o concreto em viga da ponte, constatando sua baixa resistência em relação à argamassa, além de porosidade, conforme figura 8.



Figura 8: Agregados porosos rompidos juntos com o concreto em viga da ponte.

5.3 Ocorrência da reação Alcali-Agregado (RAA)

A reação álcali-agregado cada vez mais frequente em registros de manifestações patológicas de obras. O diagnóstico desta ocorrência só é totalmente comprovado em laboratórios, no entanto, tivemos acesso ao laudo que comprovou a existência em algumas amostras para o ensaio petrográfico retiradas em peças estruturais importantes conforme os seguintes locais: Pilar 06, parte superior do tabuleiro, região do balanço do pilar 08 e balanço no pilar 07.

Em analise do processo foi realizado uma coleta de informações ambientais em termos de temperatura e umidade, inspeção visual da estrutura para identificar presença de gel exsudado pelas fissuras ou preenchendo vazios no concreto, reatividade de juntas e o deslocamento de peças móveis. Há alguns componentes essenciais necessários ao desencadeamento destas reações nocivas e todas se encaixam nas condições da obra conforme figura 9, tais como:



Figura 9: Variação de agregados, trincas e fissuras contornando agregados na parte superior do tabuleiro.

Diante destas analises, a ponte não está em uma situação confortável, visto que não se conhece ainda, um método definitivo de recuperação de estruturas afetadas por reações álcali-agregado. Apesar de dificilmente ser referida como a causa primária do colapso, a fissuração gerada pela RAA, pode favorecer outros processos de deterioração do concreto armado, como a carbonatação e a corrosão das armaduras.

5.4 Corrosão de armaduras

A patologia mais evidente foi à corrosão química das armaduras de aço que ficaram expostas sem recobrimento, principalmente em vigas dos balanços. Essa corrosão gera óxido férrico hidratado comunmente chamado ferrugem que facilmente se solta na forma de pó ou escamas, conforme figura 10.

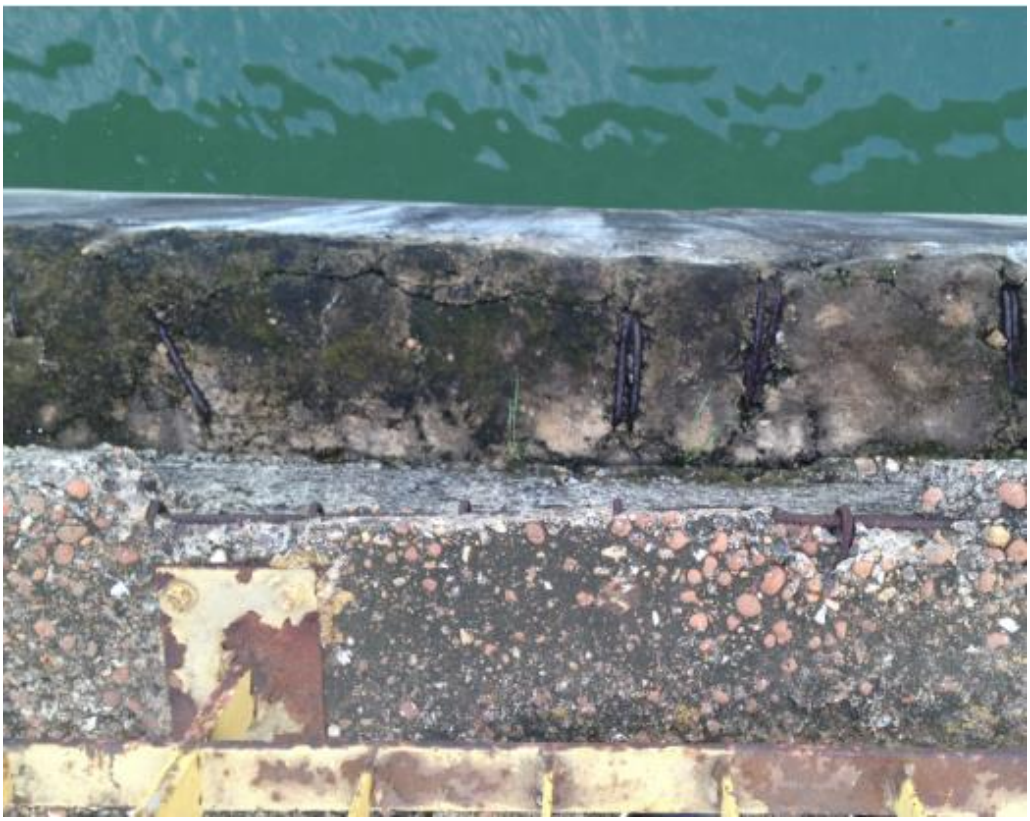


Figura 10: Armaduras expostas com corrosão em viga da ponte.

Foi verificada a deterioração total de algumas armaduras restando apenas manchas marrons ou o que sobrou da área de aço da seção degradada conforme figura 11.



Figura 11: Nincho de concretagem com armadura exposta com corrosão em viga do tabuleiro.

Em vários locais o concreto foi degredado pela expansão volumétrica dos produtos de corrosão (ferrugem) e é possível perceber o restante da armadura, conforme figura 12.



Figura 12: Degradação do concreto pelo produto da armadura com corrosão.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A ponte de Porto Nacional é uma obra de grande importância para a economia e desenvolvimento social do Estado do Tocantins. Recentemente, a imprensa comentou sobre os prejuízos causados aos agricultores que têm o custo de sua produção (soja e outros grãos) ampliado, devido aos custos de transporte ao ter que desviar a rota, adotando outros caminhos. A partir de problemas com a fonte da economia local, outros problemas sociais podem surgir.

A segurança é característica fundamental para todas as estruturas, não somente para integridade de veículos e pessoas, mas pelas consequências desastrosas e pela interrupção temporária ou definitiva do uso desta.

Foi verificado que existem problemas nos materiais utilizados, que somados as falhas nos processos executivos, fazem entender o insuficiente controle tecnológico para o concreto estrutural e de técnicas utilizadas para evitar falhas de concretagem e cobrimento adequado para armaduras durante a execução obra. Também pode ser observada a carência de manutenções preventiva ou corretiva ao longo dos anos o que acelerou vários processos de deterioração, como as fissuras abertas que facilitaram os processos de corrosão das armaduras.

O concreto durável deve conservar sua forma original, qualidade e boas condições de utilização. A determinação da obra como totalmente insegura, ainda não é possível, mas é extremamente necessário um acompanhamento permanente do progresso de deterioração através de aplicação de técnicas de avaliação, ensaios e monitoramento da corrosão em todas as peças estruturais e somente com estes dados poderão ser definidos procedimentos de recuperação ou a condenação definitiva.

Pelo período que foi construída a sobrecarga máxima seria de 30 Toneladas que é exatamente a carga limitada para travessia da ponte atualmente, esta carga com a passagem de outros veículos menores, pode gerar uma situação de risco. Uma redução significativa dessa sobrecarga poderia garantir uma maior segurança. Todas as atividades futuras bem como recomendações para obra devem ter indispensavelmente o acompanhamento constante de engenheiro com experiência especifica neste tipo de monitoramento de obra para decisões, e orientações eminentes.

Através das analises das manifestações patológicas existentes, observamos que mesmo com a necessidade de manutenções preventivas e corretivas, tornaram-se inviáveis devido às deformações e ao avançado desgaste estrutural ponte. A presença da reação álcali-agregado na estrutura também é um fator determinante para o processo de degradação definitiva devido a este ainda não ter solução.

Para não ocorrer este tipo de deterioração precoce é necessário um melhor acompanhamento do controle tecnológico de materiais e dos processos construtivos. A partir destas informações, engenheiros e técnicos podem ter esta referência na investigação de materiais e precisão na execução de obras de responsabilidade.

7. REFERÊNCIAS

RIBEIRO, D.V.; **Corrosão em estruturas de concreto armado: teoria, controle e métodos de análise.** 1ª Ed. Rio de Janeiro; Elsevier; 2014.

CLÍMACO, J.C.T.S; **Estruturas de concreto armado: fundamentos de projeto, dimensionamento e verificação**; Ed. UNB: Finatec, Brasília, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6118: **Projeto de estruturas de concreto – Procedimento**, Rio de Janeiro, 2003.

_____ NBR 7187: – **Projeto de pontes de concreto armado e de concreto protendido – Procedimento**, Rio de Janeiro, 2003.

DNIT 090/2006 – ES; **Manifestações patológicas do concreto – Especificação de serviço**; Rio de Janeiro; 2006.

BAUER, L.A.F.; **Materiais de construção 1**. 4ª Ed., Rio de Janeiro, 1994.

SILVA, M.R.; **Materiais de construção**. São Paulo, PINI, 1985.

VERÇOZA, E. J.; **Materiais de construção II**. 4ª Ed., Porto Alegre, Sagra, 1987.

XXXX, et al.; **Concreto Ensino, Pesquisa e Realizações 41º Congresso Brasileiro do Concreto**. São Paulo, IBRACON, 2005.

PETRUCCI, E.G.; **Concreto de Cimento Portland**. 2ª Ed., Porto Alegre, Globo, 1971.

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