Anais do Congresso Brasileiro de Patologia das Construções
CBPAT2016

Abril de 2016
ISSN 2448-1459

MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO: ESTUDO DE CASO DAS PONTES NA PA-458

M. C. M. CORDEIRO
Bolsista PET-Engenharia Civil
UFPA
Pará; Brasil
michellemelocordeiro@gmail.com

F. R. F. SOUSA
Bolsista PET-Engenharia Civil
UFPA
Pará; Brasil
felipe.sousa@itec.ufpa.br

C. M. AZEVEDO
Graduanda de Eng. Civil
UFPA
Pará; Brasil
carolinemenezes1@live.com

F. S. S. NETO
Mestrando do PPGEC/GPMAC/GAEMA
UFPA
Pará; Brasil
neto.salgado91@gmail.com

L. N. P. CORDEIRO
Professora Doutora do ITEC/FEC/GPMAC
UFPA
Pará; Brasil
lupcordeiroo@gmail.com

RESUMO
O ataque por cloretos é uma dos mais danosas causas de patologias em estruturas de concreto, especialmente aquelas localizadas em zonas costeiras, dado que a névoa salina que se apresenta como um elemento veicular operante e ativo de ataque por transportar cloretos, fundamentalmente, em peças de concreto aparente. Em decorrência disto a manutenção preventiva torna-se fundamental na detecção e combate às patologias provenientes de ambientes com presença de sais. Sendo assim foi realizado este estudo em estruturas de concreto armado situadas na rodovia Pa-458 a qual liga a cidade de Bragança-Pa ao balneário de Ajuruteua, este localizado no litoral atlântico nordeste do estado do Pará. O objetivo geral foi analisar as manifestações patológicas das pontes de concreto armado, localizadas sobre os canais oceânicos, ao longo da rodovia. Há pontes que foram recentemente construídas (entre 2012 e 2014) o que torna possível observar as patologias decorrentes do ambiente salino em curto prazo. Foi realizada ampla inspeção visual com acervo fotográfico; e utilizando-se dos ensaios não destrutivos de carbonatação e esclerometria. Os resultados encontrados foram discutidos e analisados de acordo com referências em normas, permitiram estabelecer uma comparação das patologias presentes nestas novas pontes com as encontradas em outras, mais antigas, localizadas na mesma rodovia.
Palavras chaves: pontes, concreto armado, carbonatação.
ABSTRACT

The chloride attack is one of the most damaging causes of pathologies in concrete structures, especially those located in coastal areas, as the salt spray that presents itself as an operating carrier member and attack assets for transporting chloride, mainly in parts of exposed concrete. As a result of this preventive maintenance becomes essential in detecting and combating diseases from environments with the presence of salts. Thus the study was conducted in reinforced concrete structures in the highway Pa-458 which connects the city of Bragança-Pa to Ajuruteua beach resort, this located in the Atlantic coast north of Pará state. The general objective was to analyze the pathological manifestations the bridges of reinforced concrete, located on the ocean channels along the highway. There have recently been constructed bridges (between 2012 and 2014) which makes it possible to observe the conditions arising from the saline environment in the short term. wide visual inspection was carried out with photographic collection; and using non-destructive testing of carbonation and rebound hammer. The results were discussed and analyzed according to references in standards, allowed a comparison of these diseases in these new bridges with those found in other, older, located on the same highway.
Key words: bridges, reinforced concrete, carbonation.

Abril de 2016
ISSN 2448-1459

1. INTRODUÇÃO

Desde da antiguidade o homem necessita ultrapassar barreiras imposta pela natureza para ir em busca de alimentos e abrigo. Assim, surgiram as primeiras pontes feitas com tronco de árvores ou de pedras com suportes simples, feitas de maneira intuitiva. Hoje, as pontes têm um significado muito grande, não apenas para o transporte de pessoas e veículos, mas principalmente para o desenvolvimento, com transporte de cargas e serviços. São utilizadas para integrar regiões distante de maneira térrea e de modo rápido. O estado do Pará, apresenta muitas pontes devido sua malha hidroviária ser muito densa. São geralmente de porte pequeno ou médio e que apresentam uma série de patologias prejudicando a sua vida útil.

"Patologia pode ser entendida como a parte da Engenharia que estuda os sintomas, os mecanismos, as causas e as origens dos defeitos das construções civis, ou seja, é o estudo das partes que compõem o diagnóstico do problema. À Terapia cabe estudar a correção e a solução desses problemas patológicos" [1]

No Brasil não é comum a presença da cultura de manunteção e inspeções preventivas das pontes, apenas quando está encontrasse em um estado crítico. Fazendo com que o custo de reparo aumente exponencialmente, além de colocar em risco vidas de pessoas, que fazem utilizaçãodessas estruturas. "Estima-se que, em países industrialmente desenvolvidos, cerca de 40% do total de recursos das indústrias da construção estão sendo aplicados em reparo e manutenção de estruturas existentes e apenas 60% em novas instalações." [2]

Quanto mais tardia a execução de manutenção de uma obra, torna-se os reparos mais caros e trabalhoso, como é demostrada através da lei de evolução dos custos, conhecida como lei dos 5 ou regra de Sitter, no qual os custos de intervenção crescem em função do tempo e segundo uma progressão geométrica de razão cinco. Segundo Helene (1992), as correções serão mais duráveis, mais efetivas, mais fáceis de executar e muito mais baratas quanto mais cedo forem executadas.

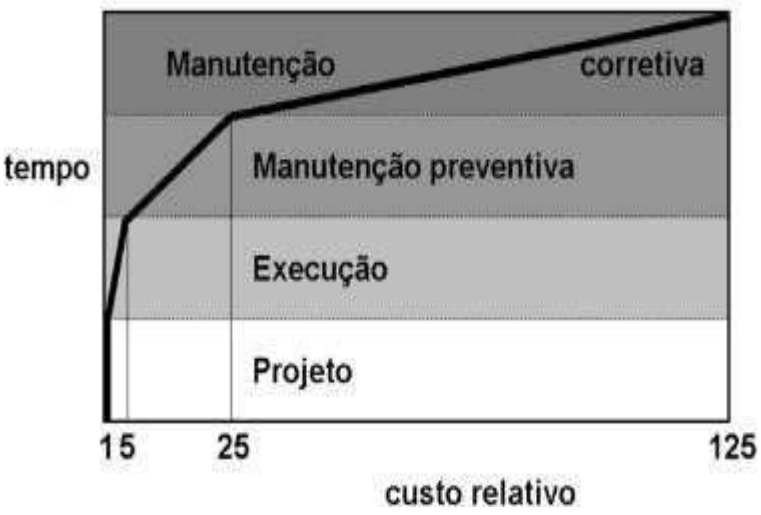


Figura 1: Evolução do custo com o tempo, Regra de Sitter
Fonte: Sitter, 1984 CEB RILEM (apud Helene, 2003, p. 27)

A durabilidade do concreto está diretamente ligada à capacidade de resistir aos processos de deterioração, como as intempéries e ataques de agentes químicos, entre outros. Na verdade, a deterioração do concreto ocorre muitas vezes através de mais de um fator, ou através de fatores internos e externos, ou até mesmo devido erros de execução e de projeto. Os processos de degradação nem sempre são visíveis, e podem alterar sua funcionalidade e até mesmo levá-lo à ruptura. O deterioramento precoce das construções acontecem em vários lugares e por vários motivos, principalmente quando há problemas na utilização de materiais com baixa qualidade ou empregados de maneira errada, falta de manutenção e condições ambientais desfavoráveis.

A agressividade do ambiente marinho deve-se, principalmente, aos sais que se apresentam dissolvidos na água do mar, que são: Cloreto de sódio, Cloreto de magnésio, Sulfato de magnésio, Sulfato de cálcio, Cloreto de cálcio, Cloreto de potássio, Sulfato de potássio e Bicarbonato de cálcio. Para um concreto submetido à ação da água do mar são prejudiciais, em primeiro lugar, os sais de magnésio e de sulfato, sendo que esta ação ocorre em longo prazo. Ambientes onde haja severa agressividade do meio, qualquer deslise, fraqueza ou deficiência, serão logo revelados, independente da qualidade dos materiais e especificações de durabilidade, que ajuda, porém, não é a garantia do bom desempenho.

O estudo trata-se uma investigação patológicas das pontes, tantos nos pilares com nos tabuleiros. As pontes foram recentemente construídas, pois antes eram de estrutura de madeira e seguem um padrão estrutural. Exceto a ponte sobre o furo Grande, que é de estrutura mista e está construída a mais tempo.

Há outros fatores que podem alterar diretamente a sua vida útil e sua durabilidade, como os erros de execução durante a construção, devido a adoção de técnicas construtivas ainda não muito aprimoradas e a utilização de mão-de-obra com baixa qualificação, e o grau de agressividade do ambiente no qual a obra está exposta, que no caso, de acordo com a classificação de agressividade do ambiente presente na NBR 6118/2014, é muito forte, com elevado risco de deterioração da estrutura por se tratar de uma construção em ambiente marinho, com a presença de elevados teores de sais.
Dentro deste contexto, a presente pesquisa irá avaliar o estado em que se encontra e as patologias presente na estrutura através de uma inspeção visual com acervo fotográfico e ensaios não destrutivos de carbonatação e esclerometria realizadas “in loco”. E tem como objetivo destacar as patologias presentes em pontes de concreto armado sobre ambiente salino, localizada na PA-458, no nordeste paraense e que interferem não apenas na sua durabilidade com também no seu Estado Limite de Serviço e na vida útil dessas estruturas. Além de ressaltar a importância dos reparos preventivos. Os resultados serão comparados de acordo com os critérios presente nas normas regulamentadoras.

3. ESTUDO DE CASO

As pontes que serão analisadas estão localizadas no município de Bragança, na estrada (PA-458) que dá acesso à praia de ajuruteua, cidade localizada ao nordeste do Pará, a 210 quilometros da capital Belém. Dentre as seis pontes que compõem o trajeto, três foram escolhidas, para serem usadas na realização da pesquisa, sendo duas de construção recente (menos de 3 anos) e uma com idade avançada. Em meio ao ambiente salino, com presença de variações de marés, elevadas temperaturas que podem influenciar na penetração de fluidos agressivos e edificadas em meio à manguezais.

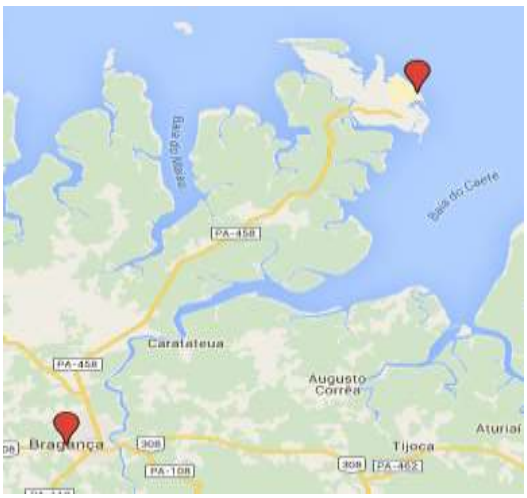


Figura 2: Rodovia PA-458, onde localiza-se as pontes em estudo
Fonte: Google Maps

A ponte sobre o Furo Grande é de porte médio. Possui estrutura mista, com o tabuleiro e pilares em concreto e vãos em aço. Apresenta 100m de extensão por 9m de largura, é sustentada por quatro composições de pilares com cinco vãos retilíneos. De todas as pontes do percurso Bragança-Ajuruteua essa é a mais antiga e consequentemente a que apresenta maiores quantidades e mais severas patologias.

Abril de 2016
ISSN 2448-1459



Figura 3: Ponte sobre o Furo Grande
Fonte: acervo dos autores

A ponte sobre o Furo do Café é toda em estrutura de concreto armado, possui porte médio, sendo 72m de extensão por 9m de largura. Foi construída recentemente, logo não possui muitas patologias visíveis.



Imagem 4: Ponte sobre o Furo do Café
Fonte: acervo dos autores

Abril de 2016
ISSN 2448-1459

A ponte sobre o Furo do Chato tem características semelhantes à do Furo do Café. Sendo de construção recente, não possuindo muitas manifestações patológicas. Classificada de porte médio, com 66m de extensão por 9m de largura.



Imagem 5: Ponte sobre o Furo do Chato
Fonte: acervo dos autores

3. METODOLOGIA

Primeiramente, foi realizada uma análise superficial de todas as seis pontes do trajeto para que fossem escolhidas um espaço amostral representativo da situação em que elas se encontravam, sendo assim foram escolhidas 3 pontes. A ponte sobre o furo grande foi escolhida devido ser a mais antiga dentre as outras cinco e apresentar mais patologias e com um maior grau de severidade. As outras duas foram escolhidas de maneira aleatória, visto que apresentavam características comuns com as outras, como a estrutura, o tipo de ponte e o período em que foram construídas.
Com isso, a pesquisa foi desenvolvida através de avaliação das manifestações patológicas, por meio de registros fotográficos e de anotações. O critério utilizado para a avaliação patológica foi o de análise visual, verificando seus devidos problemas, de acordo com as análises bibliográficas realizadas.
Posteriormente, foram realizados ensaios “in loco” do tipo não destrutivos nos pilares das pontes. Um desses ensaios foi o de carbonatação através de jateamento de uma solução alcoólica de 1% de fenolftaleína, que é um bom indicador de corrosão, a fenolftaleína mantém-se incolor em soluções ácidas e torna-se cor-de-rosa em soluções básicas. A sua cor muda a valores entre pH 8,2 e pH 9,8. Para a sua aplicação foi retirada concreto da superfície, a parte que está em contato com o meio externo, e posteriormente foi borrifado a solução.
Outro ensaio não destrutivo foi o de esclerometria, também conhecido como ensaio esclerométrico, ou ensaio do esclerômetro de reflexão, é baseado na dureza da superfície do concreto, que deve se encontrar plana, limpa e seca. Foram realizados 16 impactos afastados aproximadamente 4 cm uns dos outros, obtendo os indícies esclerométricos que foram transformados em resistencias de compressão estimada, utilizando o ábaco disponível no aparelho. O ensaio é normatizado pela NBR 7584:2012 - Concreto endurecido - Avaliação da dureza superficial pelo esclerômetro de reflexão - Método de ensaio. Este ensaio deve ser utilizado como medida de uniformidade e qualidade relativa do concreto em uma edificação.

Abril de 2016
ISSN 2448-1459

5. RESULTADOS

5.1. Manifestações patologicas identificadas visualmente

Durante a realização da visita técnica, foram observadas manifestações patológicas bastantes significativas em estado avançados, como era esperado devido a agressividade do ambiente, a idade da edificação, ausência de manutenção e vistorias periódicas. Dentre elas: fissuras, trincas, perda de cobrimento, perda de seção da armadura, oxidação da mesoestrutura (viga em perfil I). Além da presença de infiltrações, ataques de agentes biológicos e eflorescência.

As fissuras dão origem as trincas, que por sua vez podem dar origem à corrosão da armadura e aos desplacamentos, ou perda do cobrimento. Podem surgir por gradientes normais de temperatura e umidade, devido à pressão de cristalização de sais nos poros, às cargas extremas ou à ação de temperatura extremas (congelamento e fogo). Segundo a NBR 9575:2003, as aberturas com até 0,5 mm são chamadas de fissuras e, as maiores de 0,5 mm e menores de 1,0 mm são chamadas de trincas.

Levando em consideração o ambiente em que foi realizado a pesquisa, as fissuras encontradas são devido a presença dos sais. Sobretudo em áreas do concreto em que há respingos e estão sobre efeito da maré, ou seja, estão sujeitas a molhagem e a secagem. Com isso, a expansão do concreto pode ocorrer devido a cristalização dos sais nos poros. Esta ação é inteiramente física, não tendo nenhuma ataque químico ao concreto. A água do mar contribui também com a lixiviação do gesso e da etringita que são os mais solúveis em solução de cloretos, contribuindo na porosidade do concreto e consequentemente com a maior depositação de sais.



a) b) c)

Imagem 6: Patologias - a) desplacamento, b) trincas e c) fissuras
Fonte: acervo dos autores

A corrosão química do aço é a patologia mais evidente, principalmente como se trata da ponte sobre o Furo Grande. É também encontrada em pequenos trechos localizados, como identificados nas pontes sobre Furo Chato e do Café, em estado inicial, podendo se estender caso não seja tomada nenhuma providência. Esse fenômeno ocorre quando as armaduras ficam expostas, sem cobrimento, ou quando o aço perde a proteção do meio alcalino do concreto, gerando óxido férrico hidratado, conhecido popularmente com ferrugem, resultando em perdas de seção do aço, e/ou a escamação.



a) b) c)

Imagem 7: a) início de corrosão no pé do pilar, b) corrosão da mesoestrutura e c) perda de seção do aço
Fonte: acervo dos autores

Além dos problemas apresentados, também foram encontradas infiltrações, que podem ser causadas pela porosidade do concreto ou pela fissuras e trincas por onde a água percola. Essa água é proveniente principalmente da água da chuva, que por algum problema de drenagem não consegue escoar, ficando empoçada e procurando outros caminhos para

percorrer. Devido esse processo, observa-se a ocorrência de eflorescência na superfície do concreto, em virtude da lixiviação dos sais alcalinos do concreto que são solúveis em água. A eflorescência é caracterizada pela presença de manchas esbranquiçadas que são devidos à depositação de sais na superfície.
A umidade causada pelo meio e pelas infiltrações, dão condições para um ambiente propicio para o surgimento de patologias causadas por agente biológico resultando em um mau aspecto da estrutura, com o surgimento de limo, cracas e manchas em geral.



a) b) c)

Imagem 8: a) Cracas, b) muscos e infiltração e c) lixiviação e muscos
Fonte: acervo dos autores

5.2. Patologias encontradas através de ensaios não destrutivos

A carbonatação é um fenômeno do tipo físico-químico que ocorre devido a presença de gases ácidos na atmosfera que reagem com os produtos alcalinos do concreto, produzidos na hidratação do cimento. Essa reação resulta na diminuição da alcalinidade, resultando na perda de estabilidade da película passivadora do aço. Esses gases são o gás sulfídrico, o dióxido de enxofre e o gás carbônico. O gás carbônico está normalmente presente no ar e o gás sulfídrico é comumente encontrado em áreas de manguezais (ecossistema onde foram edificadas as pontes). Devido isso, foi realizado o ensaio de carbonatação por meio da solução de fenolftaleína e foi identificado que o concreto já perdeu uma parte da sua alcalinidade, porém em áreas mais internas ainda há a presença da cor rosa, simbolizando a não carbonatação do concreto. Não sendo possível medir a sua profundidade.



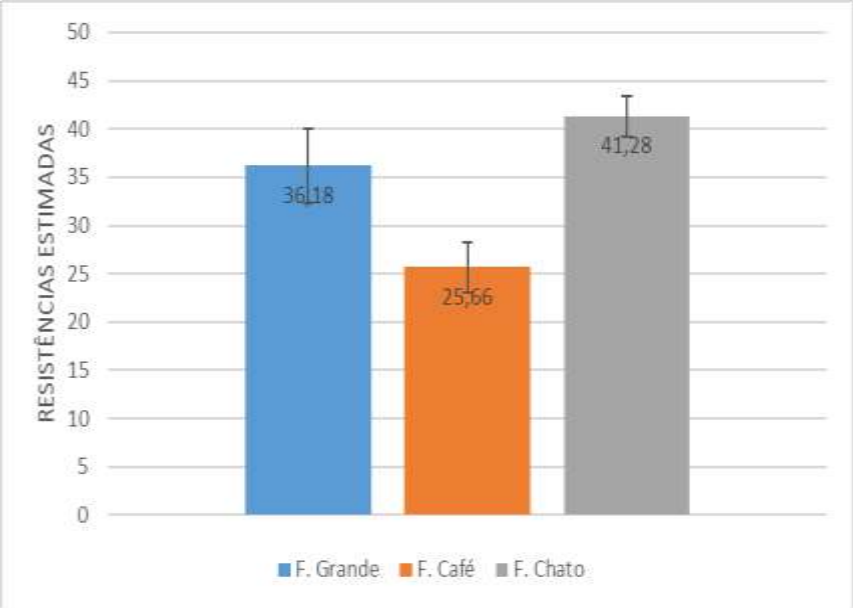
a) b) c)

Imagem 9: Ensaios de verificação da carbonatação
a) Ponte sobre o furo grande, b) sobre o furo do café e c) sobre o furo chato
Fonte: acervo dos autores

A esclerometria é um método utilizado para estimar a resistência do material, usada em locais onde não há a possibilidade de reticada de testemulhos para a verificação real da resistência à compressão. O ensaio foi realizado obtendo os seguintes valores das resistencias estimadas para a ponte sobre o Furo Grande, Furo do Café e Furo Chato, repectivamente, de: 36,18, 25,66 e 41,28. A resistência da ponte sobre o Furo do Café destoou bastante em relação as demais, sem apresentar nenhuma justificativa aparentemente visível que a justificasse, a causa pode ter origem na dosagem do concreto ou na execursão do mesmo. Segunda a norma NBR 12655:2006, para casos onde haja

contaminação com cloretos provenientes de respingos ou contato com a água do mar, a mesma estabele a resistência mínima com sendo de 45 MPa. Claramente, nenhumas das pontes estudadas apresentaram resistência satisfatória.

Gráfico 1: Resistências estimadas das pontes



6. CONCLUSÃO

Diante do exposto, observa-se um certo descaso quando à manutenção preventiva dessas estruturas, que se faz muito necessário devido ao ambiente em que a mesmas estão inseridas, que é um ambiente salino de grande agressividade. Vale relembrar que obras onde não há uma intervenção precoce gera medidas corretivas mais difíceis e de elevados custos.

As manifestações patológicas encontradas têm seus efeitos oriundos de diversas causas. Apresentam problemas que ainda são reversíveis, porém alguns fáceis de serem resolvidos e com baixo custo nas suas intervenções, como: no tratamento de fissuras e trincas que podem ser preenchidas com massa acrílica, problemas de carbonatação, perda de cobrimento e eflorescência que podem ser atenuados com uma camada de cobrimento mais densa com baixa relação água/cimento e/ou com adição de pozolanas, buscando a redução da porosidade e consequentemente o impedimento de agentes agressivos, oxidação da mesoestrutura (viga em I) onde deve ser escovada para a retirada do processo corrosivo e a utilização frequente de pinturas anticorrosivas, e a instalação de sistemas de drenagem da água da chuva, para evitar que a mesma empoce e tenda infiltrar pelo concreto.

Outros problemas não são de fáceis intervenções necessitando de um estudo sobre a necessidade da realização de um reforço estrutural, como é o caso da perda de seção das armaduras.

As pontes citadas são o único acesso à praia de Ajuruteua, que é um destino turístico da região Norte. E encontra-se com muitas patologias que prejudicam os seus Estados Limites. Muitas dessas patologias poderiam ser evitadas durante a etapa de projetos, planejamento e execução da obra, pois foram encontrados erros de concretagem que poderiam não terem ocorridos (como mostra a figura a seguir). Os erros de concretagem deixam falhas que ajudam na penetração de agentes agressivos, gerando desde as mais simples até as mais complexas patologias, interferindo na durabilidade da ponte como toda.

7. REFERENCIAS

[1] [1] HELENE, Paulo Roberto do Lago; FIGUEREDO Enio Pazini. Manual de recuperação de estruturas de concreto. Red Rehabilitar Cyted XV. 2001. p. 18.
[2] [2] MEHTA, P. K; MONTEIRO, P. J.M. Concreto: estrutura, propriedades e materiais. 3° ed. São Paulo: PINI, 2008.
[3] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12655:2003: Concreto de cimento Portland – Preparo, controle, recebimento e aceitação – Procedimento. Rio de Janeiro, 2003.

[4] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6118:2014: Projeto de estruturas de concreto - Procedimentos. Rio de Janeiro, 2014.
[5] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7584:2012: Concreto endurecido – Avaliação da dureza superficial pelo esclerômetro de reflexão – Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2012.
[6] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9575:2010: Impermeabilização – Seleção e projeto. Rio de Janeiro, 2010.
[7] ALBUQUERQUE, I. R; RIBEIRO, I. J. C. Manifestações patológicas em pontes de concreto armado, e a importância da manutenção: Estudo de caso em ponte da BR-412. In Congresso Brasileiro do Concreto, 57, 2015, Bonito - MS. Anais. Bonito, 2015.
[8] HELENE, P. R. L. Manual de reabilitação de Estruturas de Concreto – Reparo, Reforço e Proteção. São Paulo: Red Rehabilitar, editores, 2003.
[9] BAUTZ, R. S; MACIOSKI, G; WEBER, S. L; MOREIRA, A. R. Análise da qualidade do concreto em pilares de viadutos por meio de ensaios não destrutivos para fins de reabilitação. In: Congresso Brasileiro de Patologia das Construções, 1, 2014, Foz do Iguaçu - PR. Anais. Foz do Iguaçu, 2014.
[10] LAPA, J. S. Patologia, recuperação e reparo das estruturas de concreto. Monografia apresentada para obtenção de título de especialização em construção civil. Universidade Federal de Minas Gerais. Minas Gerais, 2008.
[11] LIMA, L; MORAIS, G. N; TINOCO, H. F. F. Agressividade ambiental em estruturas de concreto armado na zona litorânea de Natal/RN. In Congresso Brasileiro de Patologias das construções, 1, 2014, Foz do Iguaçu. Anais. Foz do Iguaçu, 2014.
[12] NEVILLE, A. M. Propriedades do concreto. Tradução Ruy Alberto Cremonini. 5° ed. Porto Alegre: Bookman, 2016.
[13] NEVILLE, A. M; BROOKS J. J. Tecnologia do concreto. Tradução Ruy Alberto Cremonini. 2° ed. Porto Alegre: Bookman, 2016.
[14] ORNELAS, F. S; MENDES, A. S; SILVA, T. D. A; BORJA, E.V. Estudo de caso: manifestações patológicas encontradas na ponte sobre o rio Tocatins – municipio de Porto Nacional. In: Congresso Brasileiro de Patologia das Construções, 1, 2014, Foz do Iguaçu - PR. Anais. Foz do Iguaçu, 2014.
[15] QUEIROZ, P. H. S; ANDRADE, B. A. F; MAFRA, N. S. C; CORREIA, C. M. P. Estudo das manifestações patológicas nas estruturas de concreto da ponte Rio Calhau em São Luís – MA. In: Congresso Brasileiro de Patologia das Construções, 1, 2014, Foz do Iguaçu - PR. Anais. Foz do Iguaçu, 2014.