ESTUDO DAS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS NAS ESTRUTURAS DE CONCRETO DA PONTE RIO CALHAU EM SÃO LUÍS - MA

QUEIROZ, Paulo Henrique Santos[1], ANDRADE, Bruna Antônia Ferreira de[2], MAFRA, Nailton Silva Costa[3], CORREIA, Conceição de Maria Pinheiro[4]

[1] Instituto Federal do Maranhão, Graduando em Engenharia Civil, e-mail: ph.queiroz@hotmail.com
[2] Instituto Federal do Maranhão, Graduanda em Engenharia Civil, e-mail: brunaandrade_21@hotmail.com
[3] Instituto Federal do Maranhão, Graduando em Engenharia Civil, e-mail: nailton.mafra@hotmail.com
[4] Universidade de São Paulo, Doutora em Ciência e Engenharia de Materiais, e-mail: pcorreia@ifma.edu.br

RESUMO

O presente trabalho trata das diferentes manifestações patológicas presentes nas estruturas de concreto da ponte Rio Calhau, na Avenida Litorânea, na cidade de São Luís – MA. Mais do que simplesmente identificar as falhas, nesta pesquisa tratou-se de estudar as possíveis causas dos efeitos corrosivos à supracitada ponte, sendo levados em consideração também a localização geográfica da mesma e as condições climáticas às quais as estruturas de sustentação da ponte e as contenções de taludes adjacentes são diariamente submetidas. Além da apresentação das diversas características do concreto encontradas nos pilares e nas outras estruturas de reforço que compõem a obra, foram identificados problemas de execução e seleção de material. Por fim, propõe-se algumas possíveis soluções para as falhas de diferentes espécimes encontradas na obra, contribuindo efetivamente para a resolução do problema.

Palavras chave: Manifestações Patológicas do Concreto, Contenção de Taludes, Pontes.

ABSTRACT

This article describes the different concrete pathologies manifestations found on Bridge Rio Calhau, in Litorânea Avenue, at São Luís – MA. More than simply identify the failures, this research studied the causes of cohesive effects to the aforementioned bridge, considering too geographic location and climatic conditions which the sustention's structures and containment embankments are submitted day in day out. Besides the presentation of different pathologies found particularly in concrete from pillars and efforts structures which do the shell-work, were identified execution wrongs and building materials. Finally, we propose some possible solutions to the different kind of wrongs found on shell-work, actually contributing to the problem resolution.

Keywords: Concrete Pathologies, Containment Embankments, Bridges.

1. INTRODUÇÃO

O concreto armado, sendo um material não inerte, está sujeito a alterações, ao longo do tempo, em função de interações entre seus elementos constitutivos (cimento, areia, brita, água e aço), entre esses materiais que lhe são adicionados (aditivos), e com agentes externos (ácidos, bases, sais, gases, vapores, microorganismos e outros). Muitas vezes, dessas interações resultam anomalias que podem comprometer o desempenho da estrutura, provocar efeitos estéticos indesejáveis, ou causar desconforto psicológico nos usuários.

Sendo doença falta de saúde, e saúde das estruturas entendida como seu bom desempenho, pode-se definir quais são as enfermidades das estruturas de concreto. Para que uma enfermidade seja perfeita e completamente entendida (diagnosticada), é necessário que se conheça suas formas de manifestação (sintomas), os processos de surgimento dos mecanismos, os agentes desencadeadores desses processos (causas) e em que etapa da vida da estrutura foi criada a predisposição a esses agentes (origens). (LAPA, 2008)

As origens de uma manifestação patológica está relacionada com a etapa da vida da estrutura em que foi criada a predisposição para que agentes desencadeassem seu processo de formação. Alguns desses agentes podem ser: defeitos de projeto, defeitos de execução, erosão e desgaste, má qualidade dos materiais ou uso inadequado, sinistros ou causas fortuitas (incêndios, inundações, acidentes etc.), uso inadequado da estrutura, manutenção imprópria, entre outras, incluindo-se origens desconhecidas. (Acweb, 2013)

No Brasil, as principais causas das patologias estão relacionadas à execução, essa conclusão pode ser observada segundo a **Figura 1** que apresenta a divisão dos fatores que originam as manifestações patológicas no concreto, através da imagem podemos verificar também que outros fatores estão relacionados, originados de projetos que pecam por má avaliação de cargas; erros no modelo estrutural; erros na definição da rigidez dos elementos estruturais; falta de drenagem; ausência de impermeabilização; e deficiências no detalhamento das armaduras.



Figura 1: Origens de patologias no Brasil. (Fonte: Redação AECweb/e-Construmarket)

De acordo com MEDEIROS (2010), as etapas do diagnóstico patológico de uma estrutura podem ser: vistoria preliminar, anamnese, levantamento documental, vistoria detalhada, ensaios, conclusão. É importante ressaltar o caráter teórico desta pesquisa, posto que ensaios de laboratório ainda serão realizados.

O presente trabalho trata das diferentes manifestações patológicas presentes nas estruturas de concreto da ponte Rio Calhau, na Avenida Litorânea, na cidade de São Luís – MA. Mais do que simplesmente identificar as falhas, nesta pesquisa tratou-se de estudar as possíveis causas dos efeitos corrosivos à supracitada ponte, sendo levados em consideração também a localização geográfica da mesma e as condições climáticas às quais as estruturas de sustentação da ponte e as contenções de taludes adjacentes são diariamente submetidas. Além da apresentação das diversas patologias características do concreto encontradas nos pilares e nas outras estruturas de reforço que compõem a obra, foram identificados problemas de execução e seleção de material. Por fim, propõe-se algumas possíveis soluções para as falhas de diferentes espécimes encontradas na obra, contribuindo efetivamente para a resolução do problema.

2. DESENVOLVIMENTO

Os objetos de estudo deste artigo são as manifestações patológicas do concreto existentes na ponte Rio Calhau. A ponte é ponto de ligação entre as avenidas Litorânea e Deputado Ulisses Guimarães como pode ser observada na **Figura 2**, na Baía de São Marcos, região de forte turismo na cidade de São Luís. Nas adjacências, há a presença de grandes companhias hoteleiras e locais públicos propícios ao lazer, como os equipamentos de lazer e a praia.



Figura 2: Localização geográfica da Ponte Rio Calhau na Cidade de São Luís – MA. (Fonte: Google Mapas)

A ilha de São Luís é localizada próximo à linha imaginária do Equador. De acordo com BAHIA (2009), a lua exerce forte força de ação sobre os oceanos de área do Equador e dos trópicos, resultando no que chamamos de Maré Grande ou Maré Viva. Confirmando esse dado, segundo Fábio Dantas, engenheiro chefe da Obra IV Centenário, as marés em São Luís podem sair do nível zero do rio para sete metros de altura, a cada seis horas. (FRANÇA, 2012)

Além deste fator natural, segundo análise da Secretaria Estadual de Meio Ambiente, as águas de cinco pontos da região metropolitana estão interditados, incluindo-se a desembocadura do rio Calhau na Baía de São Marcos, posta a intensa poluição.

Não se sabe se os fatores que levaram a estrutura de ligação entre essas duas avenidas a estarem tão prejudicadas foram negligência ou imperícia (leve-se em consideração que a obra é relativamente antiga). O fato é que em uma obra cujas ações do meio ambiente, assim como as ações antrópicas, sobre as estruturas de concreto são as mais intensas possíveis, é necessário cuidado redobrado tanto no projeto como na execução.

Mesmo para um leigo, as estruturas de concreto dos pilares da ponte, assim como as contenções de taludes das adjacências chamam atenção pela condição em que se encontram ,assim como podem ser observadas através das **Figuras 3,Figura 4 e Figura 5.**





Figura 3 e 4: Manifestações patológicas na escada de concretoque da acesso à praia. (Fonte: Arcevo dos autores)



Figura 5: Manifestações patológicas presente no pilar de sustentação da ponte. (Fonte: Arcevo dos autores)

Na seção seguinte, discutiremos a cerca das patologias presentes na obra.

2.1 Identificação e Classificação das patologias

A agressividade química do ambiente marinho se deve principalmente aos sais que se apresentam dissolvidos na água do mar, quais sejam: cloreto de sódio, cloreto de magnésio, sulfato de magnésio, sulfato de cálcio, cloreto de cálcio, cloreto 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, já que essa ação ocorre em longo prazo (LOPEZ, 1998).

Segundo LAPA (2008), a ação dos sulfatos na água do mar não provoca a expansão do concreto, diferentemente das águas subterrâneas. A ausência de expansão é devida à presença de cloretos na água do mar, que inibem a expansão, por que o gesso e o sulfo-aluminato de cálcio são mais solúveis em soluções de cloretos do que em água e são, portanto, lixiviados pela água do mar.

O mesmo autor explana que a água do mar contém sulfatos e ataca o concreto. Além da ação química, a cristalização dos sais nos poros do concreto pode provocar a degradação devido à pressão exercida pelos cristais salinos, nos locais onde há evaporação, acima da linha de água. Devido ao fato de as marés da Baía de São Marcos serem agressivamente discrepantes em um período curto de tempo, os concretos localizados entre os limites da maré estão sujeitos à molhagem e secagem alternadas, e, por isso, são severamente atacados.

O anidrido carbônico, CO_2, presente na atmosfera tem uma tendência notável para se combinar com as bases do cimento hidratado, resultando compostos com pH mais baixos. O

concreto possui um pH da ordem de 12,5, principalmente por causa do $Ca(OH)_2$. O desaparecimento do hidróxido de cálcio do interior dos poros da pasta de cimento hidratado e sua transformação em carbonato de cálcio faz baixar o pH da solução em equilíbrio de 12,5 para 9,4 fator importante para o início da corrosão das armaduras (LAPA,2008).Esse efeito da carbonatação pode ser demostrado pela **Figura 6.**



Figura 6: Demostração do efeito das mares,caracterizando o efeito da carbonatação no pilar. (Fonte: Arcevo dos autores)

O dióxido de carbono presente na atmosfera, por exemplo, é um dos principais fatores desencadeantes do processo de carbonatação do concreto e da consequente corrosão das armaduras. A carbonatação, ou seja, a reação do CO_2 com os compostos hidratados do cimento, principalmente o $Ca(OH)_2$ resulta na formação de carbonato de cálcio (CaCO3) e água. Por consequência, o pH do concreto baixa, alterando as condições de estabilidade da película de passivação do aço e gerando condições favoráveis para que tenha início a corrosão da armadura, uma das patologias que mais afeta e degrada as estruturas de concreto. A velocidade do processo e a profundidade de camada carbonatada são influenciadas pelas condições de exposição da estrutura (concentração de CO_2 umidade relativa do ar e temperatura do ambiente) e pelas próprias características do concreto, as quais definem porosidade, a reserva alcalina e o grau de hidratação do cimento (DE LIMA,2011).

A manifestação patológica seguinte, segundo nossa análise e os referenciais bibliográficos desta pesquisa, apresenta-se como um grave erro de seleção de material, gestão de mão-de-obra e execução. Além da problemática ambiental marinha e a generalização desses problemas pode ser demostrado através das Figuras 7, 8 e 9 que resumem o panorama dessa obra de arte que está sendo destruída por ação das marés e que necessita de manutenção corretiva.







Figura 7,8e 9: Vista de cima da ponte Rio Calhau ; Vista de cima da escadaria que daria acesso à praia; e deterioração do fim da escadaria e início da área de contenção de taludes. (Fonte: Acervo do autor).

A região da Avenida Litorânea, onde a supracitada obra se encontra é uma região muito valorizada na cidade de São Luís. Tanto pela quantidade considerável de turistas que visitam a região como pelas altas taxas cobradas de Imposto Predial e Territorial Urbano - IPTU, segundo proprietários de estabelecimentos às adjacências consultados nesta pesquisa.

Daí se pode notar a importância da qualidade de uma obra para o bem-estar e para o desenvolvimento da cidade. Encontrar situações adstringentes como as da figura 8 e 9, além de afastar os turistas, diminui a satisfação popular.

Os taludes são elementos que podem assumir as mais variadas formas, desde taludes em saia, em rampa lateral, desenvolvendo-se perpendicularmente à direção longitudinal da obra, ou em rampa sob a obra perfazendo uma cunha de terreno à frente de encontro e debaixo do tabuleiro.

A contenção de taludes da região da ponte Rio Calhau é necessária para que a água do mar não invada as avenidas adjacentes, e nem prejudique o turismo, que é de grande importância nesta área. A região de praias, onde a ponte se encontra, é um dos maiores pontos de lazer da cidade de São Luis. Entretanto, a falta de um estudo mais preparado sobre a frequência e a intensidade das marés ludovicenses é notória no projeto; isso, associado à baixa qualidade do material empregado e da mão de obra não permitiu que a obra tivesse a durabilidade desejada, como se pode conferir na Figura 10 abaixo.



Figura 10: Manifestação patológica em contenção de talude e patamar da escadaria adjacente à Ponte Rio Calhau (Fonte: Acervo do autor).

Segundo PEZENTE (2013), deve-se evitar o simples ato de revestir o talude somente com o emprego de argamassa de cimento e areia ou concreto, pois resulta em patologias. No entanto, não é difícil encontrar áreas consideráveis onde o revestimento foi aplicado sem a mínima observância às boas normas de engenharia. Como resultado, tem-se uma fissuração generalizada, com a consequente perda de desempenho do produto final e redução da vida útil do mesmo. A qualidade, eficiência e durabilidade da contenção vai depender do projeto adotado, assim como da qualidade dos materiais e, principalmente, da mão-de-obra empregada.

2.2 Propostas de Intervenção (Terapia)

2.2.1 Para o pilar

Na primeira manifestação patológica apresentada na seção anterior, identificou-se um problema no concreto armado decorrente do movimento das marés muito intenso que ataca a superfície cimentícia gerando á corrosão das armaduras por carbonatação.

A corrosão das armaduras é uma das principais manifestações patológicas no concreto armado, podendo ser causada por recobrimento das armaduras abaixo dos valores recomendados pelas normas da ABNT NBR 6118; concreto executado com elevado fator água/cimento; ausência ou deficiência de cura do concreto; segregação do concreto com formação de ninhos de concretagem; erros de traço ou lançamento e vibração incorretos. (LIMA, 2008).



Figura 11: Manifestação patológica em pilar à Ponte Rio Calhau (Fonte: Acervo do autor).

Para remediar a situação, tentando controlar o avanço da patologia e prolongando a vida útil da obra, apresenta-se seguir algumas propostas de intervenção:

Os reparos devidos à corrosão de armaduras exigem análise do funcionamento do sistema de proteção do aço dentro da massa de concreto. Segundo PIANCASTELLI (2013), a proteção catódica é teoricamente a maneira mais eficiente que se tem para prevenir ou interromper um processo corrosivo. O método consiste em abaixar o potencial de corrosão das armaduras, introduzindo-se corrente elétrica no circuito formado por todas as barras da armadura e metal instalado na superfície do concreto. Dessa forma, as armaduras passam a fazer parte da região de cátodo (região não sujeita à corrosão). A proteção catódica pode ser feita por ânodos de sacrifício ou por corrente impressa.

Além dessa técnica de proteção da armadura, garantir que o fator água/cimento seja o mais baixo possível é característica essencial para que o concreto utilizado na reparação atenda os requisitos desejados. Quando existe muita água á mistura, o excesso migra para a superfície

pelo processo de exudação. Deixa atrás de si vazios chamados de porosidade capilar. Esta porosidade prejudica a resistência do concreto, aumenta sua permeabilidade e diminui a durabilidade da peça concretada.

Seria interessante também a aplicação de uma argamassa cimentícia tixotrópica, modificada com polímeros e, preferencialmente, reforçada com fibras.

2.2.2 Para a contenção de taludes e escadaria de acesso à praia.

Como outrora supracitado, as variações de maré na ilha de São Luís são muito intensas. É necessário que as estruturas de concreto que possam enfrentar a zona da maré, submergidas em água do mar, com uma parte exposta ao ar. Além do mais, estes elementos estarão expostos em ar saturado de sal.



Figura 12: Manifestação patológica em escadaria de acesso à praia e nas contenções de talude. (Fonte: Acervo do autor).

A Figura 12 demostra a condição estética da contenção de talude do lado da ponte não é das melhores. Na tentativa de minimizar os efeitos das marés no concreto da contenção de talude, uma proteção de cimento e pedra foi executada. Entretanto, a execução não obteve a qualidade almejada, posto que a suposta "proteção" desprendeu-se com o tempo, como pode-se perceber melhor nas figuras 13, 14 e 15.

.







Figura 13, 14 e 15: Manifestação patológica em escadaria de acesso à praia e nas contenções de talude. (Fonte: Acervo do autor).

Para o talude em questão, acredita-se que a melhor solução para essa patologia é a impermeabilização do concreto por cristalização.

O material de impermeabilização por cristalização, aplicado superficialmente, impermeabiliza e protege o concreto em profundidade. Ele consiste de cimento Portland, areia de quartzo especialmente tratada e compostos químicos ativos. Ele necessita somente ser misturado com água. Quando aplicado na superfície do concreto, os componentes químicos ativos reagem com os compostos de pasta do cimento e com a umidade presente nos capilares do concreto para formar uma estrutura cristalina insolúvel.

Segundo PEREIRA (2013), estes cristais preenchem os poros e fissuras de retração do concreto para prevenir qualquer ingresso de água, mesmo sob pressão negativa. Ele ainda permitirá a passagem do vapor d'água através da estrutura, ou seja, o concreto será capaz de respirar. Além de promover a impermeabilização da estrutura, protege o concreto contra água do mar, efluentes domésticos e industriais, águas agressivas do solo e muitas outras soluções

químicas agressivas. Ele é aprovado para uso em contato com água potável e é apropriado para utilização em reservatórios, barragens, estações de tratamento de água, esgoto e efluentes, etc.

Como o concreto é um sólido que tem como uma das características ser hidrófilo, a água tem franco acesso para o seu interior, com isso, leva com ela os contaminantes que afetarão a sua qualidade e durabilidade. Quando o sistema por cristalização é aplicado, os produtos químicos ativos adentram em seu interior por pressão de osmose promovendo a formação dos cristais. Os cristais penetrarão até onde a umidade do concreto existir, ou seja, quanto mais poroso for o concreto, mais funda será a proteção do sistema por cristalização. Outra característica importante é que o sistema sela e re-sela fissuras de até 0,4 mm, a qualquer tempo, ou seja, mesmo depois de muitos anos de aplicado, caso surjam novas fissuras com passagem de água, a rede de cristais será deflagrada e ela será selada. (Pereira, 2013)

Ainda segundo ele, algumas das vantagens do sistema por cristalização em relação a outros tipos de impermeabilização é que ele impermeabiliza integralmente o concreto; torna-se parte integrante do concreto; resiste a altas pressões hidrostáticas; resiste a ataques químicos de pH 3 a 11; evita corrosão das armaduras, mesmo com pouco recobrimento; elimina a reação álcali agregado.

No que tange à proteção de impacto das marés, é necessário que seja refeito todo o aterro das escadarias, com a devida compactação, como foi observado nas figuras 13 e 15, o material utilizado desagregou intensamente, o que denota as péssimas condições do serviço e da técnica empregada e, provavelmente da mão-de-obra executora

Entendemos ainda que torna-se necessária, para a finalização do diagnóstico, a realização de um estudo geotécnico do solo para poder dimensionar o tipo e as características do tipo de fundação a ser utilizada na alocação dos pilares de sustentação da estrutura. Desta forma, estaremos evitando ainda mais futuras patologias.

3. Conclusões

No decorrer deste artigo, foram explicitadas as manifestações patológicas presentes na Ponte Rio Calhau, na cidade de São Luís, Maranhão. Foram elas a carbonatação de um pilar da ponte, a erosão ocasionada nas contenções de taludes adjacentes à ponte e nas escadarias de acesso à praia, e o desprendimento de sistemas que foram usados para proteger os taludes, mas não conseguiram atender este objetivo.

Como propostas de intervenção (terapias) para os problemas, foram citados, no caso do pilar, proteção catódica e recobrimento do mesmo com argamassa com baixa relação água cimento; impermeabilização por cristalização para o caso dos taludes que ficam em contato direto com o mar, em caráter preventivo; e por fim, executar o muro de arrimo que protegeria os taludes do impacto das fortes ondas ludovicenses.

Até então, as patologias das estruturas de concreto eram classificadas em evitáveis e inevitáveis. Na primeira, englobavam-se todas as falhas ocorridas durante quaisquer das etapas de construção, ou seja, falhas ocorrias pela falta de conhecimento e treinamento para a correta aplicação das Normas Brasileiras pertinentes a cada situação.

Já na segunda, as manifestações patológicas consideradas inevitáveis estavam relacionadas com as propriedades intrínsecas do material quando submetido a condições de exposição do meio ambiente, englobando-se as deformações decorrentes de variações de umidade, temperatura, ataques químicos, entre outros.

O fato é que, nos tempos de hoje, não há mais espaço para se aceitarem as patologias ditas inevitáveis, postos o desenvolvimento da tecnologia e dos conhecimentos acerca dos sintomas, mecanismos de formação e de possíveis ações preventivas, além de ações de caráter terapêutico.

Vale ressaltar também que os materiais que se empregam na execução de uma estrutura de concreto tem que atender às especificações de projeto e aos requisitos de qualidade prescritos nas Normas Brasileiras. Esses requisitos devem ser verificados antes do início da obra e controlados durante o processo de construção. Escolhe-los com cautela é o primeiro passo para se evitar patologias numa obra, principalmente em obras consideradas obras de arte, como pontes.

É necessário que avancem, a cada dia mais, o conhecimento do comportamento dos materiais frente a ações antrópicas e naturais, para que a adoção de medidas preventivas de proteção possa prolongar a durabilidade das estruturas minimizando o número e os custos de intervenções futuras.

4. REFERÊNCIAS

ISAIA, G.C; LIMA, M. G.. **Concreto, Ciência e Tecnologia.** Cap. 21. IBRACON. São Paulo. 2011. 1v.

ISAIA, G.C; AZEVEDO, M. T. de. **Concreto, Ciência e Tecnologia.** Cap 31.IBRACON. 2011. 2v.

FRANÇA, Cristina (2012), **"A ilha quer mobilidade."** Revista Construir NE**,** 62, 66-70.

LÓPEZ S. P. **Durabilidad del hormigón en ambiente marino**. Cuaderno Intemac, n.31. Madrid: INTEMAC. 1998 43p

MORENO, Ana Carolina. "**Brasil evolui mas segue nas últimas posições em ranking de educação.**" Disponível em: < http://g1.globo.com/educacao/noticia/2013/12/brasil-evolui-mas-segue-nas-ultimas-posicoes-em-ranking-de-educacao.html>. Último acesso em 03/02/2014.

BAHIA, S. V. A. **Um pouco sobre Marés.** Disponível em: < http://suami-bahia.no.comunidades.net/index.php?pagina=1842150270 >. Último acesso em 25/01/2014.

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. 2008.

PEREIRA, F. S C. **Impermeabilização do concreto por cristalização.** Disponível em: < http://www.crea-rn.org.br/artigos/ver/109 >. Último acesso em 28/01/2014.

AECweb. E-Construmarket. **Patologias do concreto.** Disponível em: < http://www.aecweb.com.br/cont/n/patologias-do-concreto_6160 >. Último acesso em 03/02/2014.

PORTAL DO CONCRETO. **Cimento.** Disponível em: < http://www.portaldoconcreto.com.br/cimento/concreto/cimento.html >. Último acesso em 03/02/2014.