



CONDIÇÃO ESTRUTURAL EM UMA ESTRUTURA PORTUÁRIA: UM ESTUDO DE CASO NA CIDADE DE SÃO LUÍS – MA

MUNIZ, PEDRO

Engenheiro Civil
IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas
São Paulo; Brasil
pedroguimaraesmuniz@gmail.com

PESTANA, FLÁVIO

Engenheiro Civil
Centro Universitário do Maranhão
Maranhão; Brasil
flavio.pestana@hotmail.com

BARROSO, MATHEUS

Estudante de Engenharia Civil
Universidade Federal do Maranhão
Maranhão; Brasil
mateusbarroso123@hotmail.com

RESUMO

A estrutura portuária estudada, situa-se em uma bacia hidrográfica abrigada no meio marinho da cidade de São Luís e entrou em atividade no ano de 1992. Em 2015 foi observado pelo órgão gestor que ela necessitaria de uma reabilitação estrutural, visando manter suas condições de durabilidade e desempenho previstas na norma brasileira ABNT NBR 6118-2014 - Projeto de estruturas de concreto – Procedimento. Analogamente, a recuperação estrutural para a medicina equivale à reabilitação de um paciente que apresenta um quadro instável de saúde, para isso, a engenharia também deve entender quais variáveis incidem na estrutura no decorrer da sua vida útil. O presente trabalho aborda de maneira sintetizada um estudo de caso sobre uma inspeção especial realizada em um berço de atracação de navios na cidade de São Luís do Maranhão, destacando o cenário onde a estrutura está situada, bem como as inspeções e os ensaios realizados. Diante disto, ficam evidenciadas para a respectiva comunidade da engenharia as condições encontradas neste tipo de ambiente, os mecanismos de interação e as reais consequências descobertas sob a integridade do concreto armado no meio marinho. Faz-se também uma análise das normativas NBR 6118-2014, a qual estabelece os requisitos básicos exigíveis para o projeto de estruturas de concreto simples, armado e protendido, e a ABNT NBR 12655-2015 - Concreto de Cimento Portland – Preparo, controle, recebimento e aceitação - Procedimento. Ao fim, é proposto a necessidade de um estudo com base na adaptação em um software existente de gerenciamento de pontes para servir como banco de dados para futuras tomadas de decisão para esta estrutura portuária.

Palavras-chave: Inspeção. Estruturas. Berço de atracação

ABSTRACT

The harbor structure studied, is located in a hydrographic basin sheltered in the marine environment of the city of São Luís and started operating in 1992. In 2015 it was observed by the managing body that it would need a structural rehabilitation, in order to maintain its conditions of durability and performance foreseen in the Brazilian standard ABNT NBR 6118-2014 - Design of concrete structures - Procedure. Similarly, structural recovery for medicine is equivalent to the rehabilitation of a patient who has an unstable health condition, for this reason, engineering must also understand which variables affect the structure during its useful life. The present work summarizes a case study on a special inspection carried out in a berth for berthing ships in the town of São Luís from Maranhão, highlighting the scenario where the structure is located, as well as the inspections and tests carried out. In view of this, the conditions found in this type of environment, the mechanisms of interaction and the real consequences discovered under the integrity of reinforced concrete in the marine environment are evidenced for the respective engineering community. An analysis of NBR 6118-2014 standards is also made, which establishes the basic requirements for the design of simple, reinforced and prestressed concrete structures, and ABNT NBR 12655-2015 - Portland Cement Concrete - Preparation, control, receipt and acceptance - Procedure. In the end, it is proposed the need for a study based on the adaptation of an existing bridge management software to serve as a database for future decision making for this harbour structure.

Keywords: Inspection. Structures. Mooring cradle



1. INTRODUÇÃO

Antes concebidos como “atracadouros naturais”, feitos em terra ou porção de talude, eram denominados os locais onde se atracavam as primeiras embarcações para transporte de pessoas ou cargas. Com o passar dos tempos foram evoluindo, até o que hoje podemos conhecer como cais, píer ou até mesmo berço de atracação de navios, geralmente constituídos em elementos de concreto armado.

Tratando-se do berço em estudo, materializado em 1992 e em uso até então, mais de 20 anos depois, observou-se que durante esse intervalo de tempo, de acordo com a base de dados e o histórico consultado, não houveram qualquer tipo de intervenção relativamente significativa à estrutura. Tal estrutura de concreto está disposta a uma condição ambiental altamente nociva a sua integridade, com classe de agressividade IV, disposta na NBR6118/2014 de características “muito forte”, havendo assim a provável necessidade intervenção, apontada através de ensaios destrutivos e destrutivos, obtendo-se fontes seguras e precisas, necessárias para a indicação da real situação em que a mesma se encontra.

Nas estruturas portuárias, existem peculiaridades

As análises feitas “in loco” através das investigações, determinaram a deterioração e espessuras de recobrimento do concreto e sua avaliação da frente de carbonatação. Os ensaios feitos em laboratório determinaram a avaliação do potencial eletroquímico, a condição química e a resistência a compressão, bem como durabilidade do concreto. Mediante a detenção dos dados obtidos, faz-se as análises dos ensaios realizados e se especula a possível adaptação e desenvolvimento de um programa de gestão de obras de artes especiais (OAE's) para fim de gerenciar também esse tipo de infraestrutura.

2. DESENVOLVIMENTO DO TEMA

Para entender e avaliar mais precisamente as condições e consequências nesse berço de atracação na cidade de São Luís deve-se evidenciar sua idade superior a 20 anos de vida, considerando ainda que a estrutura está parcialmente mergulhada ao mar, sujeita a respingos de maré e na exigência integral de requisitos de operacionalidade e segurança. Tal estrutura é destinada à carga de granel sólido (milho, soja, ferro gusa, minério de ferro) utilizando o sistema guindaste/esteira (shiploader) que se desloca no sentido horizontal da estrutura através de trilhos dispostos no pavimento e alinhados ao eixo das estacas inclinadas e verticais com extensão aproximadamente de 280 metros.

Em toda extensão da estrutura existem 23 vãos racionalizados de 12m de largura x 25m de comprimento (figura 1), tendo um lado (face) virado para o mar e outro virado para o aterro.

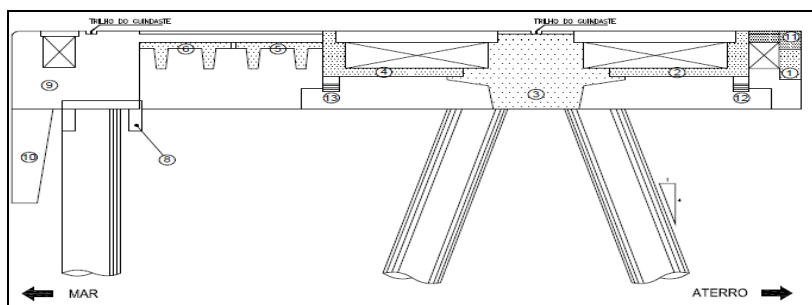


Figura 1: Elementos estruturais.

No todo, a respectiva estrutura possui 13 elementos inseridos em um padrão climático característico das regiões equatoriais tropicais, no qual predomina largamente as chuvas relativamente bem distribuídas durante todo ano, apresentando, no entanto, um volume maior entre os meses de março a maio e tendo um período de relativa estiagem entre agosto e dezembro (PINHEIRO, 2016).



Os índices de pluviosidade média em São Luís variam bastante de acordo com a tabela 1.

Tabela 1: Período de chuva e precipitação anual

Meses	Precipitação total (mm)	Dias com chuva
Janeiro	156,3	14
Fevereiro	269,3	20
Março	415,5	23
Abril	416,2	23
Maio	317,7	24
Junho	154,8	23
Julho	110,6	17
Agosto	36,2	12
Setembro	7,1	6
Outubro	3,6	2
Novembro	19,6	3
Dezembro	45,9	6

A temperatura varia ao longo do ano entre 23°C e 31°C, situando-se normalmente em torno de 27°C, no entanto, conforme consultado no boletim da empresa as temperaturas máximas e mínimas de 40°C e 15°C respectivamente.

A umidade relativa do ar é uniformemente alta durante todo o ano, com uma média mensal variando entre 75% e 85%. Os ventos na área em que se encontra a estrutura estudada vem predominantemente no sentido nordeste NE, com as velocidades e as respectivas frequências conforme indicado na tabela 2.

Tabela 2: Incidências de ventos

Beaufort	Velocidade	Frequência
2	2 a 6 nós	39%
3	7 a 10 nós	31%
4	11 a 18 nós	15%
5	17 a 21 nós	1%

A maré na Baía de São Marcos tem características sem diurnas (duas vezes ao dia) com a seguinte variação do nível d'água, conforme Capitania dos Portos do Maranhão o nível máximo (previsto) é de 7,10 m e o nível mínimo previsto pode chegar a maré negativa de - 0,30 m, EMAP (2017). As ondas na região são geradas por ventos locais, podendo alcançar alturas significativas da crista de 1,10 metros com período correspondente de 6 segundos (SÁ, 2014).

Diante a caracterização da estrutura e seu tempo vida, visou-se examinar “in loco” as características de deterioração e de espessura do concreto e cobrimento, assim facilitando a visualização dos focos de corrosão e as espessuras das armaduras corroídas. As investigações foram divididas em três em diferentes vãos atuando no mesmo elemento.

Com o auxílio do projeto original da estrutura fora comparado as especificações do mesmo com a as investigações, assim podendo nortear em que nível de deterioração a estrutura se encontrava. Dentro desta etapa da investigação destrutiva realizada, foram executadas a remoção de camada de cobrimento com o auxílio de um martelo leve (5 quilogramas).

De acordo com a tabela 3, pode-se ter um melhor entendimento das condições encontradas nas 3 investigações feitas em regiões distintas da mesoestrutura.

Tabela 3: Resultados encontrados nas investigações

Investigação	Item	Projetado	Encontrado
1	Armadura Vert (mm)	12,5	12,5
	Armadura Hor (mm)	10	10
	Cobrimento (cm)	5	6,2
2	Armadura Vert (mm)	12,5	10
	Armadura Hor (mm)	10	8
	Cobrimento (cm)	5	6,8
3	Armadura Vert (mm)	12,5	3,5
	Armadura Hor (mm)	10	7,45
	Cobrimento (cm)	5	3,3

Fonte: Elaborado pelo autor

Podem-se observar as condições encontradas de acordo com cada investigação feita no mesmo elemento em diferentes vão. Visto as condições de projeto e atual da armadura vertical, armadura horizontal e cobrimento da armadura. Para evidenciar a investigação, demonstra-se o elemento console do vão 2 na figura 2.



Figura 2: Investigação realizada no elemento console, vão 2.

Na investigação feita do elemento neste console, verificou-se uma condição após demolição parcial em condições visualmente “íntegra”, sem presença de corrosão das armaduras e com recobrimento satisfazendo a condição do projeto original.

2.1 Ensaio pH “in loco”

As principais aplicações práticas deste ensaio foram de verificar e orientar quanto a intensidade de prováveis processos de queda de alcalinidade, que fatalmente acarretará em processo de oxidação da armadura. Também foi utilizado como diretriz para identificação de regiões e mapeamento de área de risco, orientando os locais para retirada de amostras para análise química do concreto em laboratório.

A avaliação da frente de carbonatação ou o teste de pH “in loco” recorre a verificação de frente de carbonatação, onde se determinou a espessura ou profundidade do rebaixamento da alcalinidade normal do concreto, indicando no próprio local o valor aproximado do pH do concreto. Tais investigações foram realizadas em pontos distintos dos elementos estruturais em diferentes regiões, mediante abertura de janela de investigação e aplicação de solução de fenolftaleína em cerca de 1%.



Tal ensaio visa determinar a profundidade média na qual ocorre a mudança de coloração do indicador e a faixa de pH do concreto de cobrimento que pode se apresentar conforme tabela 4.

Tabela 4: Cor visível na condição de pH encontrada no concreto

Cor visível na condição	Valor do “pH” no concreto
Rosa a vermelho-carmim	Entre 8,3 e 9,5
Vermelho-carmim	Maior que 9,5
Incolor	Inferior que 8,3

Fonte: Elaborado pelo autor

Foram executadas no geral, 21 avaliações em elementos distintos. Os resultados apresentados indicam que a espessura com rebaixamento do pH apresenta-se satisfatória (variando de 0,0 a 2,1 mm). Assim, tal rebaixamento do pH, não atingiu o aço (armaduras), mesmo que em alguns pontos permaneçam afetados, conforme evidenciado pela figura 3.

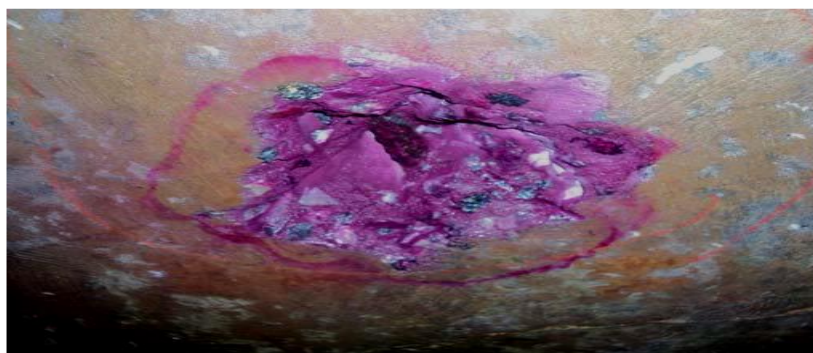


Figura 3: Região onde foi aplicada a solução

Mediante registro fotográfico dos ensaios realizados para avaliação da frente de carbonatação, pode-se constatar o detalhe da região após a aplicação da solução de fenolftaleína, alterando sua cor original, tendendo para a cor rosa, onde se indica um valor de pH respectivamente equivalente aos dados obtidos na tabela 4.

2.2 Ensaio de avaliação do potencial eletroquímico do concreto “in loco”.

Este é um ensaio não destrutivo, onde se utiliza de voltímetro de alta impedância de entrada e seus resultados obtidos servem como base de análise para avaliação da extensão dos processos de oxidação instalados em elementos estruturais (GENTIL, 2007).

Objetivando avaliar a abrangência e a probabilidade de desencadeamento dos processos de oxidação das armaduras não que são, neste caso, imperceptíveis visualmente, realizou-se a determinação dos níveis de potencial eletroquímico do concreto, especificamente das armaduras, em relação a uma semi-célula de Cu/CuSO₄.

Para mapeamento das áreas afetadas pelo processo de corrosão foram dirigidos ensaios onde previamente foi realizado um preparo da superfície, mediante a identificação do posicionamento das barras de aço com um dispositivo usualmente conhecido como pacômetro (pacometria), em seguida houve a molhagem ou saturação do substrato para aí sim executar as medições do potencial eletroquímico na superfície do concreto em relação às barras de aço que apresentavam continuidade elétrica.



O parâmetro de análise são os limites apresentados pela Norma ASTM C-876/91, apresentados através da tabela 5.

Tabela 5: Diferença de potencial em relação a probabilidade de corrosão do concreto

Tensão	Corrosão (%)
Mais negativo que – 350 Mv	90 % De Probabilidade De Ocorrência De Corrosão.
De -200 à – 350 Mv	Incerto
Mais positivo que – 200 Mv	10 % De Probabilidade De Ocorrência De Corrosão.

Fonte: Elaborado pelo autor

Os parâmetros supracitados foram utilizados em 10 regiões distribuídas na estrutura, onde foram feitos os ensaios que de acordo com os dados obtidos, demonstram que nos elementos de concreto armado ensaiados possuem uma probabilidade de 90% para ocorrência de corrosão, no decorrer dos seus 20 anos de vida, ainda que visivelmente as regiões eram consideradas íntegras.

2.3 Ensaios Químicos no Concreto

Consistem em ensaios realizados em amostras de concreto retiradas dos elementos estruturais em pontos de “interesse” mediante a utilização de uma furadeira elétrica com brocas widea com 14mm de diâmetro por meio de corte seco e que ao final são enviadas para laboratório, através de embalagem plástica com identificação. Esse envio consiste na avaliação laboratorial da presença de elementos químicos agressivos, ou seja, teores de cloretos e de sulfatos no concreto, que são os mais comuns neste tipo de ambiente de exposição.

O ensaio de pH feito, visou verificar a queda do índice de pH normal do concreto que, quando atinge as armaduras, podem propiciar o desencadeamento do processo de corrosão. O pH normal do concreto ou de outros materiais onde é empregado cimento, situa-se na faixa de 11,0 a 13,0, valores estes considerados ideais para a passivação do aço inserido no concreto. Segundo o Comitê 201 do ACI (American Concrete Institute) o limite do íon cloreto contido no concreto recomendado é de 0,1% em relação à massa de cimento, com vistas à preservação das armaduras contra o processo de oxidação do aço.

Da análise dos resultados apresentados, de modo geral, todas as amostras avaliadas apresentaram teores de cloretos acima do recomendado, cuja disseminação é verificada em toda a profundidade analisada, inclusive na região de inserção das armaduras. Os íons cloretos no concreto são considerados um dos principais elementos causadores e desencadeadores de processos de corrosão (HELENE, 1999).

Para o teor de sulfatos a NBR 11578 (1997) admite para o Cimento Portland Composto o valor máximo admissível é de 4,0 % para o trióxido de enxofre (SO₃ - sulfeto). Estes compostos são expansivos e friáveis, chegando a atingir até duas vezes o volume inicial e como consequência desencadeia na desagregação do concreto, perda de seção dos elementos, a queda da alcalinidade e ataque das armaduras existentes. A ação dos sulfatos ou sulfetos podem ainda fornecer íons ao eletrólito que propicia uma corrosão eletrolítica das barras de aço. De modo geral nos ensaios, pode-se verificar a presença de sulfato acima do limite aceitável da especificação da Norma 11578 (1997), presente em 95% das 12 amostras realizadas, decorrentes da contaminação advinda do meio externo, provavelmente das águas marinhas (ambiente marinho), sendo este um ambiente de severa agressividade.

2.4 Ensaios Resistência à Compressão

Objetivando avaliar as propriedades mecânicas quanto a resistência à compressão do concreto utilizado na estrutura, procedemos ao que se deu na retirada de testemunhos representativos do concreto de peças estruturais com diâmetro de 75 mm, com a adoção de broca diamantada conforme prescrições da Norma NBR 7680 (2015) “Concreto – Extração, preparo e ensaio de testemunhos de concreto”.



Para a obtenção dos valores de resistência a compressão do concreto, os corpos de prova (testemunhos) extraídos da estrutura foram submetidos a ensaios de ruptura a compressão conforme a norma, apresentando os resultados expostos na tabela 6, a seguir:

Tabela 6: Resistência a compressão de 4 amostras

Corpo De Prova	Projeto	Condição encontrada de Resistência a Compressão (Mpa)
1	25 Mpa	36,6
2		28,8
3		29,9
4		30,7

Fonte: Elaborado pelo Autor

De maneira geral, todos os resultados encontram-se satisfatórios, com superação dos limites especificados de resistência a compressão observado no projeto original da estrutura (25 Mpa).

2.5 Ensaios de Durabilidade do Concreto

Objetivando avaliar três propriedades mecânicas do concreto (absorção de água, índice de vazios e a massa específica) utilizado na estrutura em questão, foi feita à retirada de testemunhos representativos do concreto de peças estruturais com diâmetro de 75 mm, com a adoção de broca diamantada conforme prescrições da NBR 7680 (2015). Para concretos com qualidade ruim ou acima dos valores considerados aceitáveis, indicam concretos com rede comunicante de poros ou capilares que propiciam um meio favorável à penetração de agentes agressivos e a difusão de cloretos, bem como outros agentes contaminantes no interior do concreto.

A amostragem realizada visou abranger as regiões que apresentaram maiores incidências de anomalias, constatadas na inspeção técnica visual. Os parâmetros de avaliação de concreto com boa qualidade foram baseados em concretos de boa qualidade à absorção de água máxima é de 10% (NEVILLE, 1997).

Segundo o CEB –192 (Comitê Euro-International du Beton), classifica que o valor de 5% como concretos de média qualidade (concretos europeus), e de 5% citado por Helene (1999) (Agressividade do meio x durabilidade do concreto) como concretos de compacidade normal.

Considerando os corpos de prova ensaiados, os valores de índice de vazios apresentados nos indicam a adoção de concreto com baixa qualidade em 50% dos corpos de prova, meio à exposição a ambientes agressivos, para concretos com consumo de cimento por volta de 350 kg/m³. De maneira geral podemos considerar a amostragem realizada como sendo reduzida, frente ao volume de concreto empregado em toda a estrutura portuária, entretanto os valores obtidos nos subsidiam a uma tendência a qual os concretos empregados na obra apresentam quanto a sua qualidade.

Analisando do ponto de vista da frente à penetração de agentes agressivos no interior do concreto, pode-se afirmar que as amostras apresentam um desempenho geral insatisfatório, exceto em um único corpo de prova. Outro fator relevante a esta afirmativa é que os valores de índice de vazios elevados representam alta quantidade de poros ou rede de capilares comunicantes no interior do concreto.

3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em linhas gerais o presente estudo teve a capacidade de abordar uma vertente atualmente muito discutida no cenário da engenharia, a durabilidades das estruturas de concreto armado e a sua vida útil. Com o estudo, pode-se constatar mediante a realização dos ensaios e entendimento das variáveis apontadas que, mesmo dentro de uma concepção “ultrapassada”, a mesma já se apresentou com resultados compatíveis com as preconizações já estabelecidas nas revisões mais atuais da NBR6118 (2014) e NBR12655 (2015).



Dentre elas, algumas das constatações que podem ser feitas nesta estrutura são:

- ✓ De acordo com a classificação NBR6118 (2014) de agressividade ambiental IV da estrutura em estudo, as taxas de cobrimento do concreto encontradas e especificadas no projeto estão razoáveis, em valores de 50mm para esta estrutura em concreto armado.
- ✓ De acordo com as taxas obtidas através do ensaio de durabilidade, o consumo de cimento Portland preconizado pela NBR12655 (2015) para essa zona de classificação está razoável, em 350kg/m³.
- ✓ De acordo com o valor mínimo de $F_{ck}=40\text{Mpa}$ para concretos em condições de exposição a água salgadas, do mar e respingos, estabelecidos na NBR 12655 (2015), a estrutura se apresentou com valores máximos de 36,6Mpa e mínimo de 28,8Mpa, ou seja, bem abaixo do que a normativa preconiza.

Em linhas gerais, com as consequências inspecionadas, deteriorações isoladamente falando, os elementos que constituem a mesoestrutura do berço, não apresentaram implicações estruturais significativas ou abrangências que indiquem um comprometimento quanto à sua estabilidade global. Sobretudo, ressalta-se a necessidade de estudo para reabilitação da estrutura devido grande parte das investigações se apresentarem insatisfatórias, conforme a tabela a seguir.

Tabela 7: Investigações contra Situação

Investigações	Atividade	Situação
Destrutivos	Verificação de Cobrimento	Satisfatória
	pH "in loco"	Insatisfatória*
	Teores de cloretos e de sulfatos	Insatisfatória
	Resistência à compressão	Satisfatória
	Durabilidade do Concreto	Insatisfatória
Não Destrutivos	Potencial Eletroquímico do Concreto	Insatisfatória
pH "in loco" * Executado para balizar ensaios correntes		

Fonte: Elaborado do autor

Como sugestão final, mediante a grande dificuldade para obtenção de dados, tais como: projetos originais, detalhamento construtivo e até dados de intervenções no decorrer de sua vida útil, indica-se a adaptação para as estruturas portuárias um sistema semelhante ao de gerenciamento de Pontes (BRIDGE MANAGEMENT SYSTEMS – BMS). Sistema esse que é capaz de reunir elevadas quantidades de itens para a tomada de decisão de seus gestores. Especialmente, para a efetiva aplicação deste software gerenciador estrutural, precisa-se de mais pesquisas, incentivos, divulgação e capacitação de pessoal. No cenário internacional, o software gerenciador estrutural vem apresentando grandes impactos positivos mesmo sendo ainda pouco utilizado. Impactos esses que refletem quanto aos custos, durabilidade e a segurança operacional destas estruturas altamente solicitadas. Esta alternativa poderá gerar banco de dados para futuras tomadas de decisão, visando critérios técnicos, econômicos e com dados mais precisos cronologicamente das degradações e intervenções executadas para este tipo de sistema construtivo.



4 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6118:2014. Projeto de estruturas de concreto – Procedimento. Rio de janeiro, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 11578:1991. Cimento Portland Composto - Especificação. Rio de janeiro, 1997.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7680:2015. Concreto – Extração, preparo, ensaio e análise de testemunhos de estruturas de concreto. Rio de janeiro, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12655:2015. Concreto de Cimento Portland – Preparo, controle, recebimento e aceitação - Procedimento. Rio de janeiro, 2015.

ASTM-C-876-91, “Standard Test Method for Half Cell Potentials of Reinforcing Steel in Concrete,” ASTM , USA, 1992.

BERTOLINI, L. Materiais de construção: patologia, reabilitação e prevenção. São Paulo: Oficina de Textos, 2010.

Comitê Euro-International du Beton-CEB. CEB-FIP Mode-Code 1990. École Polytechnique Fédérale.Lausanne, June 1991 (Bulletin D'Information N°203, 204 e 205).

GENTIL, V. Corrosão. 5.ed. Rio de Janeiro. Editora: LTC, 2007.

HELENE, P. R. L. Corrosão em armaduras para concreto armado. 4. ed. São Paulo: Pini, 1999.

EMAP. Empresa Maranhense de Administração Portuária. Disponível em <<http://www.portodoitaqui.ma.gov.br/transparencia/acesso-a-informacao>>. Acesso em 26 de jun. de 2017.

MARINHA DO BRASIL. Centro de Hidrografia da Marinha - Roteiro Costa Norte. Disponível em:< <https://www.marinha.mil.br/chm/dados-do-segnav-publicacoes/roteiros>>. Acesso em: 18 de jun. de 2011.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. Concreto: estrutura, propriedades e materiais. 3. ed. São Paulo: Pini, 2008.

NEVILLE, A. M. Propriedades do concreto. 2. ed. São Paulo: Pini, 1997.

SOUZA, V. C. M. D.; RIPPER, T. Patologia, recuperação e reforço de estrutura de concreto armado. São Paulo: Pini, 1998.

PINHEIRO, J. M. Distribuição espaço-temporal da pluviosidade na ilha do Maranhão no ano de 2016. InterEspaço – Revista de geografia e interdisciplinaridade. V.3, n.8, p. 126-141. Grajaú, MA, 2017.

SÁ, J. M. L. Avaliação do monitoramento de águas costeiras na Baía de São Marcos em São Luís, maranhão. Dissertação. UFMA, São Luís, MA, 2014.

VÉRAS, D. Corrosão em estruturas de concreto Armado: teoria, controle e métodos de análise. 1. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2014.