Anais do Congresso Brasileiro de Patologia das Construções
CBPAT2016

Abril de 2016
ISSN 2448-1459

INTEGRIDADE DE ESTRUTURAS DE CONCRETO EM AMBIENTES MARINHOS: REQUISITOS BÁSICOS DE DURABILIDADE

C. L. D. CINTRA
Doutora em Ciências e Engenharia de Materiais
Instituto Federal do Maranhão
Maranhão; Brasil
cynthia.cintra@oi.com.br

P. H. S. QUEIROZ
Graduando em Engenharia Civil
Instituto Federal do Maranhão
Maranhão; Brasil
ph.queiroz@outlook.com

RESUMO

As estruturas de concreto em ambientes marinhos são estruturas que precisam de especial atenção no seu projeto e execução. O presente trabalho traz em seu escopo um estudo contextualizado da influência dos ambientes marinhos na durabilidade de estruturas de concreto, e discorre sobre aspectos que devem ser considerados para o projeto e execeução deste tipo de estrutura.. Neste estudo foi realizada a revisão de literatura sobre construções de concreto em ambientes marinhos suas respectivas manifestações patológicas com especial ênfase na corrosão das armaduras das estruturas. Análises integradas mostraram que muitos problemas de durabilidade que se desenvolvem depois de algum tempo podem ser atribuídos à ausência do controle de qualidade adequado e a fatores externos que podem ter maior influência na agressividade química do ambiente, como a poluição. Conclui-se que a qualidade de execução de uma obra está intrinsecamente relacionada com o desenvolvimento futuro de manifestações patológicas e que a agressividade do ambiente marinho e fatores externos como poluição e a variabilidade da construção devem ser levados em conta no projeto e execução da construção para atingirem os requisitos básicos de durabilidade deste tipo de estruturas, obtendo-se assim durabilidade e vida útil maiores e mais controladas.
Palavras-chave: patologias, concreto, ambientes marinhos, agressividade ambiental.

ABSTRACT

This work brings in its scope a contextual study of the influence of marine environments in the durability of concrete. This study was carried out a literature review on concrete structures in coastal environments, its related diseases with particular emphasis on reinforcement corrosion of the structures that were part of the case study. Integrated analysis showed that many durability problems that develop after some time can be attributed to adequate quality control and the absence of external factors that may have greater influence on environmental chemical hazards such as pollution. We conclude that the quality of execution of a work is intrinsically related to the future development of disease and the aggressiveness of the marine environment and external factors such as pollution and the variability of the construction must be taken into account in the design and execution of construction to reach the basic requirements of durability of such structures, thereby obtaining higher durability and service life.
Keywords: concrete pathologies, marine environment, environmental aggressiveness.

1. INTRODUÇÃO

De acordo com Medeiros, Andrade & Helene (2011), durabilidade é uma das necessidades do usuário tal como definido no conceito de desempenho formulado pela ISO 6241:1984 *Performance standards in building – Principles for their preparation and factors to be considered,* e pela ASTM E 632, ainda no início da década de 80, o que demonstra que é um conceito incorporado há mais de 35 anos no âmbito das edificações, tardiamente incorporado às normas de estruturas de concreto no Brasil pela ABNT NBR 6118:2003.

Segundo esse conceito, **durabilidade** é o resultado da interação entre a estrutura de concreto, o ambiente e as condições de uso, de operação e de manutenção. Portanto, não é uma propriedade inerente ou intrínseca à estrutura, à armadura ou

Abril de 2016
ISSN 2448-1459

ao concreto. Uma mesma estrutura pode ter diferentes comportamentos, ou seja, diferentes funções de durabilidade no tempo, segundo suas diversas partes, até dependente da forma de utilizá-la.

Para a ABNT NBR 6118:2007, item 5.1.2.3, **durabilidade** "consiste na capacidade da estrutura resistir às influências ambientais previstas e definidas em conjunto pelo autor do projeto estrutural e o contratante, no início dos trabalhos de elaboração do projeto". No item 6.1 prescreve que "as estruturas de concreto devem ser projetadas e construídas de modo que sob as condições ambientais previstas na época do projeto e quando utilizadas conforme preconizado em projeto, conservem sua segurança, estabilidade e aptidão em serviço durante o projeto correspondente à sua vida útil".

Segundo a ISO 13823:2008, entende-se por vida útil "o período efetivo de tempo durante o qual uma estrutura ou qualquer de seus componentes satisfazem os requisitos de desempenho do projeto, sem ações imprevistas de manutenção ou reparo".

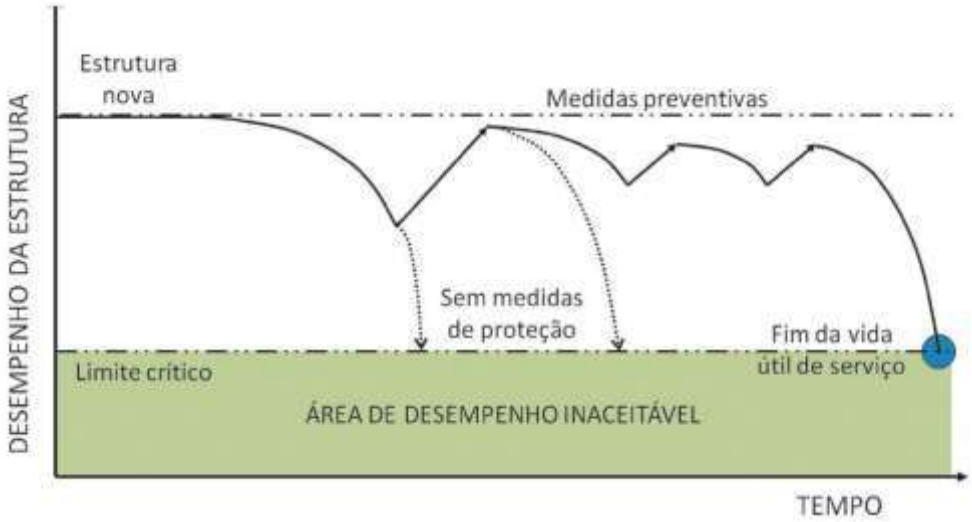

Figura 1: Variação do desempenho de uma estrutura de concreto armado ao longo do tempo. (Fonte: Concreto: Ciência e Tecnologia: Vol 1. Cap. 22. MEDEIROS, ANDRADE E HELENE.)

Os códigos estruturais definem os níveis de segurança a considerar no projeto estrutural, associados a probabilidades de ruptura. Estes níveis de segurança, na prática, são definidos através de valores de projeto a adotar para as ações e para a resistência dos materiais. Para se ter segurança (S), a resistência dos materiais (R) tem de ser superior aos efeitos das ações (A), ou considerando uma distribuição estatística destas variáveis, as probabilidades p de serugrança tem de ser positivas (BRANCO, PAULO & GARRIDO, 2014).

$$p(S)= p\,(R-A) > 0 \quad \text{(Eq.1)}$$

As distribuições estatísticas das variáveis são consideradas, na prática, através dos valores característicos das ações (Ak) e da resistência dos materiais (Rk). Estes valores característicos são definidos considerando uma distribuição estatística do tipo normal e um período de referência (habitualmente associada a uma vida útil de 50 anos para as construções correntes), correspondendo a um valor cuja probabilidade de ser excedido (para as ações) ou minorado (para as resistências) é de apenas 5%, nesse período de referência.

Observe-se que valores característicos estão associados a uma certa forma convencional de medir ações e principalmente resistências. No caso dos concretos pode ser um cilindro com altura o dobro do diâmetro e ensaiado a 28 dias.
No projeto, estes valores característicos são ainda multiplicados por coeficientes de segurança (majoração para ações e minoração para matérias) de modo a terem em conta as imprecisões dos modelos de análise ou dos processos construtivos, adotando-se então na verificação da segurança os valores de projeto A_d e R_d, de modo a garantir que no período de referência se tenha $A_d < R_d$.

Abril de 2016
ISSN 2448-1459

Em síntese, a segurança estrutural dos códigos estruturais define níveis de segurança através de valores característicos de ações e de resistências, associados a um período de referência, ou seja, a uma Vida Útil Estrutural, que é habitualmente de 50 anos, para as construções correntes. Considerando as diferentes possibilidades de agregação de qualidade, o que implica inclusive diferentes relações custo/benefício, para além dos desempenhos mínimos estabelecidos, foram fixados vários níveis classificatórios, a saber, os níveis Intermediário (I) e superior (S), conforme a NBR 15575/2013.

Ainda segundo Branco, Paulo & Garrido (2014), além dos componentes estruturais, nos quais os conceitos de Vida Útil Estrutural estão razoavelmente identificados, estando associados aos níveis de segurança, há muitos outros componentes não estruturais que estão associados à qualidade da utilização das construções e cuja vida útil pode condicionar a funcionalidade da construção, ou seja, a sua Vida Útil Funcional. Ainda pode afetar a Vida Útil Estrutural ou de Projeto, se manutenções adequadas não forem realizadas.

A NBR 15575/2013 determina que a Vida Útil de Projeto é o período de tempo estimado para o qual um edifício e/ou seus sistemas, elementos e componentes são projetados a fim de atender às atividades para as quais foram projetados e construídos, considerando: "1-o atendimento dos níveis de desempenho previstos na NBR 15.575, e 2- a periocidade e a correta execução dos processos de manutenção especificados no respectivo Manual de Uso, Operação e Manutenção. Estes componentes apresentam em geral uma Vida Útil menor que a Vida Útil Estrutural ou mesmo que a Vida Útil Funcional. Estes componentes nem sempre não são fundamentais para a segurança da estrutura, têm, no entanto, de ser reparados ou substituídos durante a vida da obra, já que afetam bastante a sua funcionalidade. Como de se esperar, a vida útil de uma obra influi diretamente no condicionamento dos custos de manutenção das construções.

E é no sentido de olhar com um caráter técnico-científico para o quesito durabilidade, com ênfase na durabilidade de estruturas marinhas, que o presente trabalho se direciona.

2. Durabilidade de Estruturas de Concreto em Ambiente Marinho

De acordo com Lima (2011), os estudos sobre **durabilidade** das estruturas de concreto levam em consideração aspectos relativos aos constituintes desta estrutura (agregados, cimento, aço) e de sua mistura (relação água/cimento ou água/aglomerante, uso de aditivos e adições, etc.), ou então à sua construção (condições de cura, por exemplo). Faz-se necessário, para o conhecimento do comportamento da estrutura, conhecer o meio ambiente onde ela está inserida; esse meio pode fazer com que um concreto devidamente especificado e executado tenha sua vida útil reduzida significativamente.

Segundo esta mesma autora, a presença de substâncias agressivas na atmosfera também é um fator muito importante a ser considerado quando se trata da degradação das estruturas de concreto causada por fatores ambientais. O dióxido de carbono, CO2, presente na atmosfera, por exemplo, é um fator muito importante no desencadeamento do processo de carbontação do concreto e da consequente corrosão das armaduras.

De acordo com Maes (1962), as construções marinhas estão expostas a substâncias muito agressivas, leve-se em consideração que a água do mar consiste basicamente de cloretos e sulfatos.

> *"Chlorides affect durability by initiating corrosion of the reinforcement steel and sulphates affect durability by deteriorating the concrete itself. Former research mostly focused on the individual attack mechanisms, although multi-ion transport of chlorides and sulphates changes the attack mechanisms since both ions bind with the aluminate minerals in cement. In case of chloride attack, binding is beneficial since less free chlorides remain to reach the reinforcement, but in case of sulphate attack, binding means formation of expansive reaction products" (MAES, 1962).*

De todos os ambientes onde as estruturas possam estar inseridas, ainda segundo Lima (2011), seguramente o meio ambiente marinho é o que mais foi e está sendo estudado. A presença de agentes agressivos, com velocidade alta de ataque, justifica essa preferência de estudo.

No ambiente marinho são encontrados vários agentes que atuam negativamente sobre as estruturas de concreto, reduzindo seu desempenho, e que podem ser agrupados em agentes químicos, agentes físicos e agentes biológicos.

Abril de 2016
ISSN 2448-1459

Normalmente, a ação desses agentes acontece simultaneamente. Segundo Mehta & Monteiro (1994), no ambiente marinho, a água salgada é o principal agente responsável por processos físicos e químicos de degradação. Isso se explica pelo fato de que, na água do mar, é possível se encontrarem todos os elementos naturais conhecidos da tabela periódica, cada um em uma determinada proporção. É importante lembrar que a concentração desses elementos pode variar consideravelmente com a localização, tempo, estação do ano e especialmente com a atividade biológica (ROSS,1982).

A maioria dos estudos sobre a **durabilidade** de estruturas de concreto em ambiente marinho resume-se nos temas de corrosão de armaduras ou, em outros poucos casos, ataque por sulfatos. A corrosão das armaduras é uma das manifestações patológicas mais preocupantes, do ponto de vista estrutural e econômico. Segundo Gjørv (2015), mesmo que tenham sido especificados e executados os requisitos mais rigorosos para a qualidade do concreto e para o cobrimento durante a concretagem, a experiência demonstra que as estruturas de concreto em ambientes marinhos sempre apresentam certa extensão de penetração do cloreto durante a operação e uso das estruturas.

Gjørv (2015) afirma que a concretagem em ambientes marinhos também pode ser vulnerável à exposição precoce ao cloreto nas primeiras idades, quando o concreto ainda não têm cura e maturidade suficientes. Se for alto o risco de exposição precoce durante a concretagem, o projeto de durabilidade também deve considerar adequadamente esse fator. Nesse caso, pode ser necessário um controle precoce da possível penetração do cloreto antes que a construtora entregue a estrutura de concreto.

3. Controle de Qualidade

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.

Ainda segundo o mesmo autor 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.

Para avaliação periódica das condições e controle da penetração do cloreto durante a operação da estrutura, é muito importante ter um plano detalhado da estrutura que indique os locais selecionados para o controle futuro. Esses locais devem ser tão representativos quanto possível das partes mais expostas e essenciais da estrutura. No entanto, como toda estrutura de concreto apresenta alta dispersão e variabilidade da qualidade especificada da execução, pode ser difícil determinar quais partes da estrutura terão a maior taxa de penetração de ions cloretos. Deve-se, portanto, selecionar mais locais para controle da penetração de ions cloretos já no estágio inicial da operação. Passado algum tempo, quando fica mais claro onde ocorrerão as mais altas taxas de penetração do cloreto, podem-se concentrar os controles subsequentes nesses locais, reduzindo o total de locais inspecionados e controlados (GJØRV, 2015).

Para conseguir melhor controle da qualidade final do adensamento do concreto, segundo Gjørv (2015), é essencial ter alguns requisitos de **durabilidade** baseados em desempenho que possam ser verificados e controlados para garantia de qualidade durante a concretagem. Mesmo estruturas de concreto em alto-mar, onde são aplicados procedimentos rigorosos tanto para a produção do concreto como para o controle de qualidade da concretagem, falhas de adensamento podem vir a interferir na qualidade final do produto entregue.

Abril de 2016
ISSN 2448-1459

3. CONCLUSÕES

Como pudemos compreender por meio do exposto no presente artigo, as estruturas de concreto em ambientes marinhos requerem de nós cuidado especial em todas as suas fases: desde a idealização, concepção do projeto, até a execução e concretagem propriamente dita. Qualquer deslize, seja na fase inicial, seja na feitura da obra, pode ser determinante para o desenvolvimento de inúmeras manifestações patológicas que comprometem a qualidade do produto a ser entregue.

É necessário que a cultura do gerenciamento de qualidade se torne mais firmemente presente nos canteiros de obra de todos o país, mas urge que o gerenciamento de qualidade num canteiro de obras, especificamente de concretagem realizada em ambiente de severa agressividade, como é o ambiente marinho, seja realizado com as mais criteriosas normas. Tempo e dinheiro sempre são investidos em obras deste porte, nunca desperdiçados.

Vale ressaltar que a necessidade de uma cultura prevencionista se faz cada vez mais necessária no Brasil, uma vez que quanto mais tarde as manifestações patológicas sejam identificadas, mais difícil, demorado e caro se tornará o processo de recuperação e reforço estrutural. Essa ideia, unânime entre todos os autores consultados nesta pesquisa, e deve nortear todos os profissionais atores da área.

4. REFERÊNCIAS

[1] LIMA, M. – *Ações do meio ambiente sobre as estruturas de concreto.* Concreto: Ciência e Tecnologia. 2011

[2] MEHTA, P.K; MONTEIRO, P.J.M.; *"Concreto: estrutura, propriedades e materiais*". São Paulo: Pini, 1994.

[3] Ross, P.A. Introduction to Oceonography. 3ed. S. L: s.e., 1982.

[4] MAES, M. **Universiteit Gent.** *Durability of Concrete in Marine Envionment.* Disponível em http://www.ugent.be/ea/structural-engineering/en/research/magnel/research/research3/durability . Último acesso em 02/02/2016.

[5] GJØRV, O.E. *Projeto da durabilidade de estruturas de concreto em ambientes de severa agressividade*. Oficina de Textos, 2015.

[6] ISAIA, G.C.; Concreto, Ciência e Tecnologia. IBRACON, 2011. 1v.

[7] 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.