

**Leandro Gularte Blois
Emerson Lemos Vianna
Oliver Marques Alvariza
Fernanda da Luz Ferreira
Daniel de Moraes Oliveira
Mateus Costa Teixeira
Gabriel Silveira de Britto**

**MECANISMOS DE DETERIORAÇÃO EM
ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO EM
AMBIENTE MARÍTIMO**



SÃO PAULO | 2026



**Leandro Gularte Blois
Emerson Lemos Vianna
Oliver Marques Alvariza
Fernanda da Luz Ferreira
Daniel de Moraes Oliveira
Mateus Costa Teixeira
Gabriel Silveira de Britto**

**MECANISMOS DE DETERIORAÇÃO EM
ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO EM
AMBIENTE MARÍTIMO**



SÃO PAULO | 2026

1.^a edição

Autores

Leandro Gularte Blois
Emerson Lemos Vianna
Oliver Marques Alvariza
Fernanda da Luz Ferreira
Daniel de Moraes Oliveira
Mateus Costa Teixeira
Gabriel Silveira de Britto

**MECANISMOS DE DETERIORAÇÃO EM ESTRUTURAS DE
CONCRETO ARMADO EM AMBIENTE MARÍTIMO**

ISBN 978-65-6054-314-0



Autores

Leandro Gularte Blois
Emerson Lemos Vianna
Oliver Marques Alvariza
Fernanda da Luz Ferreira
Daniel de Moraes Oliveira
Mateus Costa Teixeira
Gabriel Silveira de Britto

MECANISMOS DE DETERIORAÇÃO EM ESTRUTURAS DE
CONCRETO ARMADO EM AMBIENTE MARÍTIMO

1.^a edição

SÃO PAULO
EDITORA ARCHÉ
2026

Copyright © dos autores e das autoras.

Todos os direitos garantidos. Este é um livro publicado em acesso aberto, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que sem fins comerciais e que o trabalho original seja corretamente citado. Este trabalho está licenciado com uma Licença *Creative Commons Internacional* (CC BY- NC 4.0).



Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
(eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)

M486 Mecanismos de deterioração em estruturas de concreto armado em ambiente marítimo [livro eletrônico] / Leandro Gularte Blois... [et al.]. – 1. ed. – São Paulo, SP: Editora Arché, 2026.
56 p.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

ISBN 978-65-6054-314-0

1. Durabilidade – Estruturas de concreto armado. 2. Concreto armado – Deterioração. 3. Ambiente marítimo – Agressividade. 4. Engenharia civil – Infraestrutura. I. Blois, Leandro Gularte. II. Vianna, Emerson Lemos. III. Alvariza, Oliver Marques. IV. Ferreira, Fernanda da Luz. V. Oliveira, Daniel de Moraes. VI. Teixeira, Mateus Costa. VII. Britto, Gabriel Silveira de.

CDD 624.183

Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422

Revista REASE chancelada pela Editora Arché.

São Paulo- SP

Telefone: +55 55(11) 5107-0941

<https://periodicorease.pro.br>

contato@periodicorease.pro.br

1ª Edição- *Copyright* © 2026 dos autores.

Direito de edição reservado à Revista REASE.

O conteúdo de cada capítulo é de inteira e exclusiva responsabilidade do (s) seu(s) respectivo (s) autor (es).

As normas ortográficas, questões gramaticais, sistema de citações e referenciais bibliográficos são prerrogativas de cada autor (es).

Endereço: Av. Brigadeiro Faria de Lima n.º 1.384 — Jardim Paulistano.

CEP: 01452 002 — São Paulo — SP.

Tel.: 55(11) 5107-0941

<https://periodicarease.pro.br/rease>

contato@periodicarease.pro.br

Editora: Dra. Patrícia Ribeiro

Produção gráfica e direção de arte: Ana Cláudia Néri Bastos

Assistente de produção editorial e gráfica: Talita Tainá Pereira Batista

Projeto gráfico: Ana Cláudia Néri Bastos

Ilustrações: Ana Cláudia Néri Bastos e Talita Tainá Pereira Batista

Revisão: Ana Cláudia Néri Bastos e Talita Tainá Pereira Batista

Tratamento de imagens: Ana Cláudia Néri Bastos

EQUIPE DE EDITORES

EDITORIA- CHEFE

Dra. Patrícia Ribeiro, Universidade de Coimbra- Portugal

CONSELHO EDITORIAL

Doutoranda Silvana Maria Aparecida Viana Santos- Facultad Interamericana de Ciencias Sociales - FICS

Doutorando Alberto da Silva Franqueira-Facultad Interamericana de Ciencias Sociales (FICS)

Me. Ubiranilze Cunha Santos- Corporación Universitaria de Humanidades Y Ciencias Sociales de Chile

Doutorando Allysson Barbosa Fernandes- Facultad Interamericana de Ciencias Sociales (FICS)

Doutor. Avaetê de Lunetta e Rodrigues Guerra- Universidad del Sol do Paraguai- PY

Me. Victorino Correia Kinhama- Instituto Superior Politécnico do Cuanza Sul-Angola

Me. Andrea Almeida Zamorano- SPSIG

Esp. Ana Cláudia N. Bastos- PUCRS

Dr. Alfredo Oliveira Neto, UERJ, RJ

PhD. Diogo Vianna, IEPA

Dr. José Faijardo- Fundação Getúlio Vargas

PhD. Jussara C. dos Santos, Universidade do Minho

Dra. María V. Albardonedo, Universidad Nacional del Comahue, Argentina

Dra. Uaiana Prates, Universidade de Lisboa, Portugal

Dr. José Benedito R. da Silva, UFSCar, SP

PhD. Pablo Guadarrama González, Universidad Central de Las Villas, Cuba

Dra. Maritza Montero, Universidad Central de Venezuela, Venezuela

Dra. Sandra Moitinho, Universidade de Aveiro-Portugal

Me. Eduardo José Santos, Universidade Federal do Ceará,

Dra. Maria do Socorro Bispo, Instituto Federal do Paraná, IFPR

Cristian Melo, MEC

Dra. Bartira B. Barros, Universidade de Aveiro-Portugal

Me. Roberto S. Maciel- UFBA

Dra. Francisne de Souza, Universidade de Aveiro-Portugal

Dr. Paulo de Andrada Bittencourt – MEC

PhD. Aparecida Ribeiro, UFG

Dra. Maria de Sandes Braga, UFTM

DECLARAÇÃO DOS AUTORES

Os autores se responsabilizam publicamente pelo conteúdo desta obra, garantindo que o mesmo é de autoria própria, assumindo integral responsabilidade diante de terceiros, quer de natureza moral ou patrimonial, em razão de seu conteúdo, declarando que o trabalho é original, livre de plágio acadêmico e que não infringe quaisquer direitos de propriedade intelectual de terceiros. Os autores declaram não haver qualquer interesse comercial ou irregularidade que comprometa a integridade desta obra.

DECLARAÇÃO DA EDITORA

A Editora Arché declara, para os devidos fins de direito, que: 1. A presente publicação constitui apenas transferência temporária dos direitos autorais, direito sobre a publicação, inclusive não constitui responsabilidade solidária na criação dos manuscritos publicados, nos termos previstos na Lei sobre direitos autorais (Lei 9610/98), no art. 184 do Código Penal e no art.º 927 do Código Civil; 2. Autoriza e incentiva os autores a assinarem contratos com repositórios institucionais, com fins exclusivos de divulgação da obra, desde que com o devido reconhecimento de autoria e edição e sem qualquer finalidade comercial; 3. Todos os e-book são *open access*, desta forma não os comercializa em seu site, sites parceiros, plataformas de *ecommerce*, ou qualquer outro meio virtual ou físico, portanto, está isenta de repasses de direitos autorais aos autores; 4. Não cede, comercializa ou autoriza a utilização dos nomes e e-mails dos autores, bem como nenhum outro dado dos mesmos, para qualquer finalidade que não o escopo da divulgação desta obra.

APRESENTAÇÃO

A contemporaneidade da engenharia civil é marcada pela proliferação de obras de infraestrutura e edificações em concreto armado situadas em orlas marítimas. Tais intervenções abrangem desde estruturas habitacionais e complexos voltados ao turismo até obras de arte especial de grande porte, como canais de acesso, molhes e quebra-mares. Todavia, a implantação de estruturas nesses locais impõe desafios severos que transcendem os encontrados em ambientes urbanos, rurais ou puramente industriais. O ambiente marítimo possui um grau de agressividade ambiental significativamente superior, o que exige um rigor técnico diferenciado desde a fase de concepção e projeto até a execução e manutenção das obras.

As zonas litorâneas e portuárias constituem ecossistemas capazes de induzir estruturas de concreto armado ao colapso em intervalos de tempo reduzidos caso não haja o devido tratamento preventivo. A vulnerabilidade dessas construções decorre da intensidade da interação entre os constituintes químicos da água do mar, a umidade relativa do ar e a névoa salina (aerossóis). A penetração de

agentes agressivos, com destaque para os íons cloreto, desencadeia processos patológicos complexos, como a despassivação e subsequente corrosão das armaduras, além de reações expansivas e degradação da matriz de cimento.

Diante do avanço constante da engenharia estrutural no combate às deteriorações, torna-se imperativo que a produção científica se volte para a garantia da durabilidade e da vida útil dessas estruturas, considerando tanto o tempo de serviço previsto quanto as condições de utilização. O estudo desses mecanismos de transporte e degradação é fundamental para o progresso da ciência dos materiais, permitindo que as obras de infraestrutura mantenham sua estabilidade e funcionalidade adequadas ao longo das décadas.

Nesse contexto, a presente pesquisa propõe uma discussão aprofundada sobre os conceitos de durabilidade e vida útil em ambientes de alta agressividade. O trabalho fundamenta-se em uma metodologia de revisão bibliográfica analítica, consultando fontes de alta relevância técnica e autores renomados do setor, incluindo livros, periódicos, teses e dissertações. O objetivo central é consolidar o conhecimento técnico-científico necessário para subsidiar decisões de

projeto que resultem em estruturas mais resilientes, minimizando a necessidade de manutenções corretivas precoces e assegurando a integridade do patrimônio construído em regiões costeiras.

RESUMO

Sabe-se que grande parte das obras de infraestrutura, o qual se utiliza das estruturas de concreto armado, localizadas próximas a ambientes marítimos, sofrem com deteriorações muito severas. Com o intuito de dissertar sobre o assunto é que são mencionadas as principais bases teóricas para mostrar a importância do tema para engenheiros do ramo. O objetivo da pesquisa é expor os conceitos e processos referentes às estruturas de concreto armado em ambiente marítimo, onde o grau de agressividade a esses elementos estruturais é intenso. O trabalho foi realizado através de pesquisas bibliográficas em teses, dissertações, monografias, artigos e periódicos de autores renomados e com vasta experiência nesses tipos de obras. Os resultados obtidos com a pesquisa foram que os conceitos de vida útil e durabilidade, o conhecimento acerca da composição química do oceano, os processos de deterioração em estruturas de concreto armado e os modelos utilizados para manutenção da durabilidade são de essencial relevância para construir obras com estruturas de concreto armado nesse tipo de ambiente. Concluiu-se, a partir da pesquisa, que o conhecimento técnico-científico

sobre os fatores envolventes as estruturas de concreto armado em ambiente marítimo é essencial para conseguir obter durabilidade e vida útil nas obras de infraestrutura em ambientes agressivos.

Palavras-Chave: Durabilidade. Concreto armado. Ambiente marítimo.

ABSTRACT

It is known that a large part of infrastructure works, which use reinforced concrete structures located near marine environments, suffer from very severe deterioration. In order to discuss this subject, the main theoretical bases are mentioned to show the importance of the topic for engineers in the field. The objective of the research is to present the concepts and processes related to reinforced concrete structures in marine environments, where the degree of aggressiveness to these structural elements is intense. The work was carried out through bibliographic research in theses, dissertations, monographs, articles and periodicals by renowned authors with extensive experience in these types of works. The results obtained from the research were that the concepts of service life and durability, knowledge about the chemical composition of the ocean, the deterioration processes in reinforced concrete structures and the models used for maintaining durability are of essential relevance for constructing works with reinforced concrete structures in this type of environment. The research concluded that technical and scientific knowledge about the factors involved in reinforced concrete structures

in marine environments is essential to achieve durability and service life in infrastructure projects in aggressive environments.

Keywords: Durability. Reinforced concrete. Marine environment.

RESUMEN

Es sabido que gran parte de las obras de infraestructura que utilizan estructuras de hormigón armado ubicadas cerca de ambientes marinos sufren un deterioro muy severo. Para abordar este tema, se mencionan las principales bases teóricas que demuestran su importancia para los ingenieros en la materia. El objetivo de la investigación es presentar los conceptos y procesos relacionados con las estructuras de hormigón armado en ambientes marinos, donde la agresividad de estos elementos estructurales es intensa. El trabajo se realizó mediante la investigación bibliográfica en tesis, disertaciones, monografías, artículos y publicaciones periódicas de autores de renombre con amplia experiencia en este tipo de obras. Los resultados obtenidos de la investigación indican que los conceptos de vida útil y durabilidad, el conocimiento de la composición química del océano, los procesos de deterioro en estructuras de hormigón armado y los modelos utilizados para mantener la durabilidad son de vital importancia para la construcción de obras con estructuras de hormigón armado en este tipo de entorno. La investigación concluyó que el conocimiento técnico y científico sobre los factores que intervienen en las estructuras de

hormigón armado en entornos marinos es esencial para lograr la durabilidad y la vida útil en proyectos de infraestructura en entornos agresivos.

Palabras Clave: Durabilidad. Hormigón armado. Entorno marino.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO.....	10
CAPÍTULO 01	22
MECANISMOS DE DETERIORAÇÃO EM ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO EM AMBIENTE MARÍTIMO	
CAPÍTULO 02	24
MECANISMOS DE DETERIORAÇÃO EM ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO EM AMBIENTE MARÍTIMO	
CAPÍTULO 03	39
RECOMENDAÇÕES DE DURABILIDADE E VIDA ÚTIL EM ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO	
CONCLUSÃO	44
REFERÊNCIAS.....	48
ÍNDICE REMISSIVO	51

INTRODUÇÃO

As obras de engenharia e infraestrutura construídas em concreto armado em ambiente marítimos estão cada vez mais comuns para diversos fins, sejam edificações para o uso próprio e para o turismo, canais de acesso, molhes, quebra mar entre outros. Porém, o ambiente marítimo não possui um grau de agressividade como os demais ambientes (urbano, rural e industrial). O grau de agressividade do ambiente marítimo é muito maior do que os outros ambientes e por isso precisa de uma atenção especial na hora de construir.

Zonas litorâneas, marítimas e portuárias são ambientes capazes de levar uma estrutura de concreto armado ao colapso. Isso acontece porque a proporção de ataque dos constituintes da água do mar e da atmosfera marinha é muito intensa. Diversas patologias das construções estão relacionadas diretamente ao ambiente marítimo. Portanto, esses mecanismos precisam ser dimensionados corretamente, minimizados com base em estudos de caso e retardados com a manutenção corretiva.

Como a engenharia estrutural avança fortemente no sentido de combater as deteriorações de todos os tipos, produzir estruturas que

tenham durabilidade no decorrer do tempo e em função da utilização, o estudo é de suma importância para o avanço da ciência. Com isso torna-se imprescindível a análise de estudos referentes ao tema com a intenção de proporcionar obras de infraestrutura mais duráveis com a estabilidade adequada ao uso.

A pesquisa tem por objetivo discutir os conceitos referentes à durabilidade e vida útil de estruturas de concreto armado em ambiente marítimo. E, assim, contribuir para o conhecimento técnico-científico no que tange as obras de infraestrutura em concreto armado em ambientes com alto grau de agressividade.

O artigo trata de uma pesquisa bibliográfica com seleção de leituras analíticas sobre os principais conceitos técnicos acerca das estruturas de concreto armado em ambiente marítimo. Serão realizadas pesquisas em livros, artigos, periódicos, anais, teses, dissertações e monografias relevantes de autores renomados do setor.



MECANISMOS DE DETERIORAÇÃO EM ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO EM AMBIENTE MARÍTIMO



DETERIORATION MECHANISMS IN REINFORCED CONCRETE STRUCTURES IN MARINE ENVIRONMENTS



MECANISMOS DE DETERIORAÇÃO EM ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO EM AMBIENTE MARÍTIMO

CAPÍTULO 01

MECANISMOS DE DETERIORAÇÃO EM ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO EM AMBIENTE MARÍTIMO

MECANISMOS DE DETERIORAÇÃO EM ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO EM AMBIENTE MARÍTIMO

As obras de engenharia feitas em concreto armado possuem diversas vantagens, como o custo-benefício, moldabilidade, estabilidade e economia de materiais de construção. Entretanto, o ferro (aço carbono) utilizado para armar a estrutura pode sofrer diversos tipos de ataques do meio de inserção, isso pode resultar até mesmo na ruína da construção. Por isso, é importante destacar alguns conceitos para o embasamento teórico-científico da durabilidade e vida útil em estruturas de concreto armado em zonas marítimas.

DEFINIÇÃO DE VIDA ÚTIL PARA ESTRUTURAS DE CONCRETO

Segundo a Norma Regulamentadora Brasileira (NBR 6118/2003) a vida útil de uma estrutura de concreto armado se caracteriza por duas etapas, vida útil de projeto e vida útil de serviço. A vida útil de projeto é o tempo em que as estruturas de concreto permanecem com suas características iniciais, desde que atendidos todos os requisitos de uso e da realização de reparos em função de danos

acidentais. Também, é o período de tempo determinado pelo projetista baseado em outros estudos, modelos matemáticos e características e propriedades dos materiais empregados. Já a vida útil de serviço compreende no tempo até que apareçam manchas na superfície da estrutura ou fissuras no concreto de cobrimento da armadura. Dependerá da função e de maiores exigências sobre a estética da edificação. Esse tipo de vida útil vai depender muito dos tipos de uso para qual se destina a edificação e seu atendimento quanto a utilização.

Silva (2011) menciona que a definição de vida útil nesse conceito também irá depender do processo de corrosão. Em ambientes marítimos o processo de corrosão é muito comum e se alastra com facilidade. Esse problema diminui consideravelmente a durabilidade de uma estrutura de concreto armado em ambiente marítimo. Com isso, métodos de prevenção, manutenção e controle da corrosão são importantes para manutenabilidade das estruturas em concreto armado.

O AMBIENTE MARÍTIMO

Para entender o ambiente marítimo e seus processos de deterioração e redução da durabilidade em estruturas de concreto

armado os estudos de alguns autores renomados são de extrema relevância e necessário. Biczók (1972) salienta que foi no ambiente marítimo onde apareceram os primeiros grandes problemas com relação a corrosão em estruturas de concreto armado. Por isso, os primeiros estudos em durabilidade e vida útil de estruturas em concreto armado foram elaborados em ambiente marítimo. Isso se caracteriza pelo fato de que, em zonas litorâneas, o grau de agressividade ao concreto armado é muito maior do que em outros ambientes de inserção das estruturas.

A água do mar possui diversos sais (entre eles os principais como cloretos, sulfatos e nitratos) capazes de atacar e comprometer a estabilidade das estruturas de concreto armado em ambiente marítimo. Biczók (1972) e Mehta e Monteiro (1994) destacam também os sais magnésios, principais responsáveis por atacar a pasta de cimento, assim como os íons sulfato. E, Helene (1986) explana que os íons cloreto são os principais responsáveis por atacar e iniciar o processo de corrosão nas armaduras das estruturas de concreto armado.

Os oceanos, em sua maioria, possuem uma proporção de composição química quase igual, de acordo com Mehta e Monteiro

(1994). No Brasil, para o Oceano Atlântico, o teor total médio de sais é de 3,5% (35 g/l). Biczók (1972) apresenta, na figura 1, as quantidades dos principais íons contidos nas águas do Oceano Atlântico.

Figura 1 - Composição da água do mar do Oceano Atlântico.

Sal	g/1000 de água	% em relação ao sal total
Cloreto de sódio	26,9	78,32
Cloreto de magnésio	3,2	9,44
Sulfato de magnésio	2,2	6,40
Sulfato de cálcio	1,3	3,94
Cloreto de cálcio	0,6	1,69
Outros (sulfato de potássio, bicarbonato de cálcio, etc.)	--	0,21
Total	34,3	100,00

Fonte: Biczók (1972).

Biczók (1972) e Mehta e Monteiro (1994) relatam que a água do mar possui baixo teor de gás carbônico (CO_2) livre e um Potencial Hidrogeniônico (pH) geralmente igual ou superior a 8. Esses valores mudam, caso for analisar pontos diferentes ao longo da costa, ou seja, a composição da água do mar pode ser diferente e irá depender dos pontos estratégicos de estudo.

Nos estuários, rios e baías o pH encontra-se no valor menor que 7,5 devido a maiores teores de CO_2 livre, sendo assim tornando-se um ambiente mais agressivo (MEHTA e MONTEIRO, 1994). Salienta-se

também que o gás carbônico proveniente das águas e de zonas industriais é extremamente agressivo as estruturas de concreto armado, formando um processo denominado de carbonatação.

Pela composição da água do mar, a ação química é uma das formas de ataque às estruturas de concreto armado mais relevante, No entanto, além disso, ainda se têm alguns outros fatores como agressão por congelamento, impacto e abrasão das ondas. Certamente, a soma desses efeitos torna o ambiente muito mais agressivo do que como se eles estivessem apenas sob a influência de um ataque isolado, como, por exemplo, em estruturas costeiras e de alto mar (NEVILLE, 1982).

A atmosfera marinha também contém agentes agressivos, que transportados pelos ventos chegam às construções mais próximas, depositam-se, cristalizam-se e acabam por deteriorar as obras. Esses agentes agressivos normalmente são cloretos de sódio e de magnésio, junto com os sulfatos, presentes nas gotículas transportadas ou na água em suspensão em forma de cristais (HELENE, 1981).

Quando se trata de zonas de respingos de maré (onde as ondas batem em estruturas de concreto armado e permanecem nesse ciclo por

grandes períodos de tempo) a concentração de cloretos junto à superfície do concreto é bem mais elevada do que em zona totalmente submersa (PRUDÊNCIO, 1993). Isso faz com que o ataque químico combinado com o ataque físico contribua para a deterioração acelerada das estruturas.

Segundo Villaverde et al. (1994), em seu estudo, na cidade de Rio Grande, numa Subestação Rio Grande 2 da Concessionária de Energia Elétrica do Estado (CEEE), para a Universidade Federal do Rio Grande (FURG) constataram que o meio agressivo da atmosfera marítima, a umidade relativa do ar normalmente elevada da cidade do extremo sul, a proximidade com indústrias de fertilizante e com uma refinaria de petróleo, a alta porosidade do concreto e cobrimentos baixos foram as principais causas do alto grau de deteriorização da estrutura de concreto armado por ataque de cloretos e sulfatos.

Para cidades litorâneas, com zona costeira e portuária os cuidados relacionados às construções e obras em concreto armado precisam ser redobrados. Esses ambientes proporcionam um índice de agressividade muito alto trazendo inúmeros malefícios para as

estructuras de concreto armado.

CAPÍTULO 02

MECANISMOS DE DETERIORAÇÃO EM ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO EM AMBIENTE MARÍTIMO

MECANISMOS DE DETERIORAÇÃO EM ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO EM AMBIENTE MARÍTIMO

Mehta e Monteiro (1994) e Neville (1982) explanam sobre o sulfato contido na água do mar que possui efeito diferente de uma água que só contém sulfato (águas subterrâneas). Os sulfatos em contato com os cloretos e os demais constituintes químicos da água tornam-se muito agressivos fazendo com que haja expansão ou retração da pasta de cimento e das armaduras do concreto. Nesse contexto salienta-se que não se consegue estudar ou analisar a agressividade de um elemento químico sozinho e sim suas combinações.

No estudo de Hadley (1948), na costa do Oceano Pacífico, nos Estados Unidos e no Canadá, em estruturas de concreto armado no ambiente encontrou-se ataque por sulfato devido ao contato com a água do mar. Isso se deu pelo desaparecimento da película superficial do cimento ou enfraquecimento em uma zona de ninho de abelha, ficando algumas partículas soltas.

Em concretos fabricados com cimento onde o teor de aluminato tricálcico (C_3A) é alto haverá formação de sulfoaluminatos de cálcio

que irá atacar o concreto, pois o teor de cloretos da água do mar não poderá impedir a cristalização. Nos cimentos do tipo Portland, com teor de C_3A baixo, o ataque ao concreto será reduzido pela ação dos cloretos (BICZÓK, 1972).

Segundo Lea (1970) o hidróxido de cálcio que fica livre na pasta do concreto endurecido pode causar deterioração por troca de base envolvendo íons magnésio, confirmado em estruturas marítimas com depósitos brancos de hidróxido de magnésio e silicato de magnésio hidratado.

Biczók (1972) afirma que o hidróxido de magnésio, em estado amorfo, continua a se depositar nos poros do concreto endurecido. A solução de sais de magnésio desmancham rapidamente os cristais de sulfoaluminatos de cálcio hidratado, fazendo com que haja o impedimento da corrosão do concreto endurecido. A corrosão por magnésio devido à água do mar é muito pequena, devida à quantidade reduzida do íon magnésio (Mg) para formação do hidróxido de magnésio ($Mg(OH)^{2-}$ chamado de brucita). Entretanto, a corrosão por água do mar é controlada evitando a formação de sulfoaluminatos de

cálcio, o que é evitado por uma boa densidade do concreto.

MOSKVIN et al. (1980) menciona que o concreto é atacado pela água do mar e acaba por gerar um processo de degradação. Para isso o autor fez a análise das descrições a seguir e montou um diagrama da estrutura em concreto armado em contato com a água do mar (Figura 2):

I. O ácido carbônico, existente na água do mar, que penetra pela superfície externa do elemento, ataca a camada mais externa da estrutura de concreto, transformando o hidróxido de cálcio em bicarbonato;

II. A água do mar continua a penetrar no concreto, havendo reação entre os sais de magnésio e o hidróxido de cálcio formando cloreto de cálcio bastante solúvel ou sulfato de cálcio pouco solúvel. Nessa camada o teor de cal é pequeno devido à falta do hidróxido de cálcio ou pela transformação em gipsita.

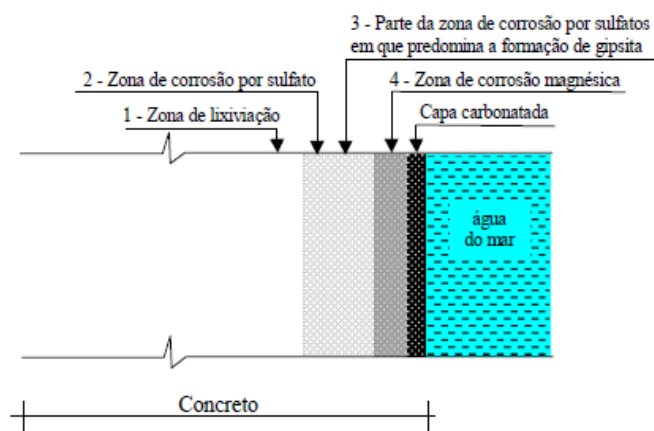
III. Os sulfatos não combinados com o íon magnésio continuam a penetrar no concreto, provocando ataque por sulfato, formando uma zona que se caracteriza pela presença de gipsita e de sulfoaluminatos de cálcio, havendo corrosão por expansão. Na parte mais externa dessa zona, assim como na zona anterior, só há formação de gipsita devido à presença de íons magnésio;

IV. Devido à penetração da água liberada do ácido carbônico, dos sais de magnésio e dos sulfatos, há formação de uma zona a qual sofre ataque por lixiviação;

O limite entre as diversas camadas se desloca com o tempo,

sendo que a solução de sais de magnésio se desloca sobre os sulfoaluminatos de cálcio formados na camada seguinte mais interna destruindo e evitando expansões maiores. Os sais de magnésio penetram no concreto pela infiltração da água do mar devido à diminuição da difusão do hidróxido de cálcio do interior da pasta de cimento (MOSKVIN et al., 1980).

Figura 2 – Corrosão causada pelo contato da estrutura com a água do mar.



Fonte: Moskvina et al., (1980)

Em estruturas de concreto armado que não sejam grandes, com exposição ao mar aberto, o ataque se dá predominantemente por lixiviação ao invés de expansão. Em estruturas como, por exemplo,

paramento de cais, onde a água do mar pode percolar em quantidade insuficiente para haver lixiviação, logo se pode ocorrer efeitos de expansão das estruturas em concreto armado (LEA, 1972).

A água do mar causa efeitos nocivos e prejudiciais ao concreto armado. Isso acontece porque devido à formação de zonas anódicas e catódicas pela penetração de sais, que resulta na corrosão do aço e ruptura do concreto que envolve a armadura (NEVILLE, 1982).

O concreto também pode ser atacado sem estar em contato com a água do mar, pois o ar do ambiente marítimo possui sais que podem penetrar na pasta de cimento, sendo esse ataque mais intenso no inverno e outono devido à alta umidade relativa do ar nessas estações do ano e com teor de sais maiores (BICZÓK, 1972).

De acordo com LEA (1970) o sulfato da água do mar ataca o concreto quimicamente, pela destruição da camada passivadora que envolve o aço, formada logo após a hidratação do cimento, e provoca a desagregação por pressão devido à cristalização dos sais presentes nos poros do concreto.

Percebe-se que, quando se trata de ambientes marítimos,

costeiros ou portuários os principais mecanismos de deterioração das estruturas de concreto armado são os sais presentes na água do mar. Esses sais são do tipo íons de magnésio, íons sulfatos, íons cloretos e o dióxido de carbono presente no ar. Também se vê que o ataque pode se dar pelo contato direto com a ação da água do mar ou pelo transporte desses sais através dos ventos que alcançam essas estruturas e acabam por deteriorá-las.

Escolheu-se manter os estudos ocorridos por autores antigos, complementando com pesquisas mais recentes, visto que estes foram precursores dos estudos de deterioração de estruturas de concreto armado em ambiente marítimo. A partir de seus estudos foi alavancada uma série de pesquisas específicas relacionadas ao tema.

CAPÍTULO 03

RECOMENDAÇÕES DE DURABILIDADE E VIDA ÚTIL EM ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO

RECOMENDAÇÕES DE DURABILIDADE E VIDA ÚTIL EM ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO

Quanto se trata de estruturas em concreto armado os quesitos estudados para o dimensionamento e uma boa qualidade do material são muitos específicos e técnicos. É preciso conhecimento, experiência e muito treinamento na hora de construir. Nos ambientes marítimos é pior ainda, ou seja, outras séries de aspectos devem ser levadas em consideração visando durabilidade e vida útil em estruturas de concreto armado em ambiente marítimo, sabendo que o grau de intensidade de ataque é ainda maior.

No conceito de vida útil de estruturas de concreto armado em ambiente marítimo é preciso conhecimento sobre as fissuras que aparecem na estrutura, na relação água cimento utilizada para fabricação da estrutura, o consumo de cimento usado também deve ser levado em consideração, o tipo de cimento utilizado de acordo com o tipo de ambiente escolhido e a resistência esperada, a resistência a compressão do concreto e o cobrimento nominal das armaduras.

Esses aspectos são alguns dos principais que devem ser analisados e calculados de modo que a estrutura obtenha o mínimo de degradação

ao longo do tempo, variando com o tipo de ambiente de exposição. Araújo (2010) apresenta algumas recomendações contributivas tanto para estruturas de concreto armado antigas como para estruturas de concreto armado novas em ambiente marinho.

Com relação às estruturas de concreto armado existentes em um determinado ambiente marinho, uma inspeção visual prévia é fundamental para diagnosticar o avanço da degradação na estrutura. Com isso, a manutenção de reparo e reforço é de suma importância para o não alastramento da patologia de forma imediata, após a conclusão pericial inicial (ARAÚJO, 2010).

Quando a situação está mais crítica, em caráter emergencial, é fundamental uma avaliação estrutural mais aprofundada para verificação de fissuras e corrosão intensa em vigas longitudinais. Nesses casos, onde se verifica a presença de manifestações patológicas por meio da corrosão é importante à ampliação dos ensaios para análise dos teores de cloretos e sulfatos presentes nas estruturas (ARAÚJO, 2010).

Araújo (2010) argumenta que, caso a estrutura de concreto esteja

com teores elevados de contaminação por cloretos é viável uma proteção catódica ou uma extração de cloretos. Esses mecanismos de controle da taxa de corrosão por cloretos e sulfatos são capazes de elevar a vida útil residual das estruturas, a depender da situação encontrada de deterioração. Para garantir o desempenho correto das técnicas de manutenção adotadas para cada caso particular, é importante uma minuciosa seleção de materiais e métodos e o controle de qualidade dos produtos de reparo e de proteção superficial que deve ser aplicadas as estruturas.

Para estruturas em concreto armado, localizadas e ambiente marítimo, quando recém-construídas, para evitar o desgaste superficial e a deterioração acelerada é interessante a realização imediata de uma manutenção de reparo das falhas construtivas. A forte agressividade ambiental e a verificação de um início de perfil de penetração externa de cloretos no concreto de cobrimento de alguns elementos tornam essenciais a proteção superficial da estrutura. Além dos diversos estudos e pesquisas na área de durabilidade e vida útil de estruturas de concreto armado em ambiente marinho, normas de reparo e recuperação

estão disponíveis para auxiliar nos procedimentos perante as deteriorações nesse tipo de ambiente (ARAÚJO, 2010).

Recomenda-se também, quando as estruturas em concreto armado são recentes, manter uma inspeção visual periódica para detectar possíveis aparecimentos de deteriorações em função das adversidades do ambiente de instalação. A manutenção periódica pode ser um divisor, principalmente, nas questões de dispêndio de recursos financeiros (ARAÚJO, 2010).

Araújo (2010) menciona que é importante estender a vida útil das obras de grande responsabilidade e impacto ambiental através da aplicação de técnicas de proteção catódica nas estruturas de concreto. Porém, pela carência de conhecimento nacional das novas técnicas de proteção catódica, recomenda-se um estudo específico de sistemas atuais de proteção de estruturas de concreto expostas ao ambiente tropical marinho, incluindo sistemas de monitoramento do concreto, original e recuperado, e da armadura.

CONCLUSÃO

CONCLUSÃO

. Os conceitos apresentados de vida útil de projeto e vida útil de serviço, o ambiente marítimo, os mecanismos de deterioração em estruturas de concreto armado e as recomendações de durabilidade e vida útil em estruturas de concreto armado são fatores determinantes na projeção de obras de infraestrutura em ambiente marítimo. De fato, precisam ser dimensionados e levados em conta na hora da construção e na manutenção do pós-construção. Além desses conceitos descritos, existem outros, não menos importantes, que se somam a cada estudo e pesquisa e contribuem para a expansão da bibliografia acerca das estruturas de concreto armado em ambiente marítimo.

O conhecimento dos conceitos de durabilidade e vida útil e suas bibliografias e normas regulamentadoras são vitais para determinar o tratamento e o processo que será utilizado para reparar ou reforçar as estruturas deterioradas. O ambiente de

inserção das estruturas em concreto armado e seus índices de agressividade ajudam, também, na determinação de fatores capazes de minimizar o surgimento de manifestações patológicas.

Já os mecanismos de deterioração de estruturas de concreto armado em ambiente marítimo auxiliam a diagnosticar as causas dos aparecimentos das degradações, contribuindo para o sucesso dos processos de intervenção e manutenção. E, as recomendações sobre durabilidade e vida útil em estruturas de concreto armado em ambiente marítimo servem para nortear a condução dos processos de reparo e manutenção quando há a necessidade de intervir em estruturas danificadas.

Por isso, é preciso estudar as pesquisas disponíveis, conhecer e analisar sobre a atuação dos mecanismos de ataque dessas fontes de degradação em estruturas de concreto armado em ambiente marítimo. Com isso, pode-se tentar minimizar o surgimento de patologias estruturais e elevar a durabilidade e vida útil das

estructuras de concreto armado nesses ambientes.



REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT, Norma Regulamentadora Brasileira-NBR 6118 – **Projeto de Estrutura de Concreto**. 2003.

ARAÚJO, A. **Durabilidade de Estruturas de Concreto em Ambiente Marinho: estudo de caso**. INTERCORR ABRACO. Centro de Convenções do Hotel Praia Centro. Ceará, Fortaleza, 2010.

BICZÓK, I. **Corrosion y proteccion Del hormigon**. Trad. Emilio J. Dócon Asensi. Bilbao, Ediciones Urmo, 1972.

HADLEY, H. M. **Concreto em água do mar - necessária revisão de ponto de vista** São Paulo, ABCP, 1948.

HELENE, P. R. L. **Corrosão das Armaduras em Concreto Armado**. In: 4º Simpósio de Aplicação da Tecnologia do Concreto-Simpatcon. Anais. São Paulo, 1981.

HELENE, P. R. L. **Corrosão em Armaduras para Concreto Armado**. São Paulo, Pini, 1986.

LEA, F. M. **The Chemistry of Cement and Concrete**. Great Britain, Edward Arnould Ltd, 1970.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: Estrutura, Propriedades e Materiais**. São Paulo, Pini, 1994.

MOSKVIN, V.; IVANOV, F.; ALEKSEYEV, S.; GUZEYEV, E. **Concrete na Reinforced Concrete Deterioration and Protection**. Trad. de V. Kolykhmatov Moscow, V. Moskvín, 1980.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do Concreto**. Trad. Salvador E. Giammusso. São Paulo, Pini, 1982.

PRUDÊNCIO JR, L. R. **Contribuição à Dosagem do Concreto Projetado**. 1993. Tese (Doutorado), Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia Civil. São Paulo, SP. 1993.

SILVA, C. A. **Comportamento dos Perfis de Cloreto em Tetrápodes Localizados nos Molhes da Barra (Rio Grande – RS – Brasil)**. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Engenharia Oceânica). Universidade Federal do Rio Grande. Rio Grande. 2011. 284p.

VILLAVERDE, A.; GIUGLIANI, E.; VERÇOSA, E. J.; RECENA, F. A. P.; SOLANO, R. S. **Avaliação Estrutural-Subestação Rio Grande 2 - convênio PUCRS e CEEE**. In: Reunião do Ibracon-Reibrac: Manutenção e Controle de Estruturas de Concreto, 36ª. Porto Alegre, 1994. Anais. Porto Alegre, 1994.



ÍNDICE REMISSIVO

ÍNDICE REMISSIVO

A

Ação Química, 29

Água Do Mar, 9, 10, 12, 27,
28, 29, 33, 34, 35, 36, 37, 38

Aluminato Tricálcico 33, 34

Ambiente Marítimo, 9, 10, 12,
13, 19, 20, 25, 26, 27, 29, 30,
31, 33, 37, 38, 40, 41, 42, 43,
45, 46

Armaduras, 10, 25, 26, 27, 33,
37, 40, 43

Atmosfera Marinha, 19, 29, 30

B

Bicarbonato, 35

Brucita, 34

C

Carbonatação, 29

Cimento, 10, 27, 33, 34, 35,
36, 37, 40

Cloretos, 10, 27, 30, 33, 34,
38, 41, 42

Cobrimento, 25, 30, 40, 42

Colapso, 9, 19

Concreto Armado, 9, 10, 12,
13, 19, 20, 25, 26, 27, 28, 29,
30, 31, 33, 34, 35, 36, 37, 38,
39, 40, 41, 42, 43, 45, 46

Corrosão, 10, 26, 27, 34, 35,
36, 37, 41, 42

D

Degradação, 10, 35, 40, 41,
42, 45, 46

Despassivação, 10

Deterioração, 10, 12, 14, 16,
19, 22, 23, 24, 26, 30, 32, 33,
34, 38, 42, 43, 45, 46

Dióxido De Carbono 28, 38

Durabilidade, 10, 12, 13, 19,
20, 25, 26, 27, 34, 39, 40, 42,
45, 46

E

Ensaio, 41

Estabilidade, 10, 19, 25, 27

Expansão, 33, 35, 36

F

Fissuras, 25, 40, 41

G

Gipsita, 35

H

Hidróxido De Cálcio, 34, 35,
36

Hidróxido De Magnésio, 34

I

Íons, 10, 27, 28, 34, 35, 38

L

Lixiviação, 35, 36, 37

M

Magnésio, 27, 29, 34, 35, 36,
38

Manutenção, 9, 10, 12, 19, 26,
41, 42, 43, 45, 46

N

Nbr 6118, 25, 49

Névoa Salina, 9 Nitratos, 27

P

Patologias, 10, 19, 41, 46

Ph, 28

Proteção Catódica, 42, 43

R

Resistência À Compressão, 40

S

Sais, 27, 28, 29, 34, 35, 36, 37,
38

Sulfatos, 27, 29, 30, 33, 35,
37, 38, 41, 42

Sulfoaluminatos De Cálcio,
33, 34, 35, 36

V

Vida Útil, 10, 12, 13, 19, 20,
25, 26, 27, 39, 40, 42, 43, 45,
46

MECANISMOS DE DETERIORO EN ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN ARMADO EN AMBIENTES MARINOS

Revista REASE chancelada pela Editora Arché.
São Paulo- SP.
Telefone: +55(11) 5107- 0941
<https://periodicorease.pro.br>
contato@periodicorease.pro.br

MECANISMOS DE DETERIORO EN ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN ARMADO EN AMBIENTES MARINOS

