

ANÁLISE DOS IMPACTOS DA AGRESSIVIDADE MARINHA DA ENSEADA DE VITÓRIA EM ESTRUTURAS DE CONCRETO

LUANA ARAÚJO DE FREITAS¹, HUDSON BARCELOS REGGIANI²

¹Estudante, Faculdade Brasileira de Ensino – MULTIVIX, Vitória-ES, araujo.lfreitas@gmail.com;

²Engenharia Civil e Segurança do Trabalho, M.Sc. em Administração, Professor: Faculdade do Centro Leste-UCL, Serra-ES e Faculdades Integradas Espírito Santense – FAESA, Vitória-ES, hudson@reggia.com.br

Apresentado no
Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTECC
Palmas/TO – Brasil
17 a 19 de setembro de 2019

RESUMO: A presente pesquisa tem como objetivo mostrar o impacto da agressividade do ambiente marinho associado a esgotos, sobre as estruturas de concreto, assim como as reações características entre substâncias agressoras e compostos da estrutura, em um estudo de caso das fundações do Terminal Rodoviário, situado na baía da Grande Vitória. O enfoque principal desta análise são os teores de Sulfatos, Cloretos e pH da água do mar e o quanto atingiu a estrutura em concreto armado. Foram utilizados dados de coletas realizadas na Enseada de Vitória, no Espírito Santo, durante o mês de setembro, e dados de um monitoramento da estrutura de concreto, no período de um ano. Após esse monitoramento e avaliação dos ensaios das coletas pode-se comprovar que a água do mar apresenta índices acima da referência de Cloretos, Sulfatos e pH, comprovando a ação agressiva dos agentes químicos sobre a estrutura em concreto armado, evidenciada por manifestações patológicas tais como: abrasão, erosão, porosidade, perda de resistência do concreto, corrosão da armadura com consequente expansão do volume da armação e deslocamento do cobrimento do concreto.

PALAVRAS CHAVE: Agressividade do ambiente marinho, estruturas de concreto, sulfatos, cloretos, manifestações patológicas.

ANALYSIS OF MARINE AGGRESSIVENESS OF THE ENSEADA DE VITORIA IN STRUCTURES OF CONCRETE

ABSTRACT: The main goal of the present paper, in a summarized way, a description of the marine environment as to aggressiveness to the reinforced concrete structures, the characteristic reactions between the aggressive substances and the compounds of the structure and a case study of this aggressiveness on a structure in Brazilian coastal region. The main focus of this analysis are the levels of Sulfates, Chlorides and pH of the sea water and how much it reached the structure of reinforced concrete. Data were used from collects performed in Enseada de Vitória, in Espírito Santo, during the month of September, and data from a monitoring of the concrete structure, in the period of one year. After this monitoring and appraisal of the collection tests, it can be verified that the sea water presents indexes above the reference of Chlorides, Sulfates and pH, proving the aggressive action of the chemical agents on the structure in reinforced concrete, leading to pathological manifestations in the advanced stage of corrosion of the steel with expansion and consequent displacement of the concrete cover.

KEYWORDS: Aggressiveness of the marine, concrete structures, sulfates, chlorides, pathological manifestations.

INTRODUÇÃO

Patologia das estruturas é o campo da Engenharia das Construções que realiza os estudos das origens, formas de manifestações, consequências e mecanismos de ocorrência das

falhas e da degradação das estruturas. De um modo geral espera-se das estruturas, em especial de concreto, a completa adequação à finalidade que foi projetada (HELENE, 2003).

No Brasil, a maioria das estruturas ainda é executada com concreto armado, o que torna essa pesquisa relevante e de importância, visto que maiorias das edificações na cidade de Vitória estão inseridas em ambiente com grau de agressividade elevada e/ou em contato direto a água do mar. A constância e a funcionalidade das estruturas de concreto se modificam com o passar do tempo vista às interações com o ambiente no qual estão expostos. O concreto confere ao aço uma proteção química e física, mas não garante a durabilidade eterna da estrutura, visto que ao longo da vida útil os agentes agressivos presentes no ambiente onde a estrutura está inserida, provoca a deterioração dos componentes. Diante disso, medidas que avalizem o bom funcionamento da estrutura devem ser adotadas, integrando a qualidade e o desempenho esperado às ações ambientais às quais estão contidas (GOMES *et al*, 2018; LAPA, 2008).

A pesquisa desenvolvida buscou a identificação das anomalias através da análise a olho descoberto da infraestrutura da fundação do terminal rodoviário Carlos Alberto Vivacqua, localizado no município de Vitória e Estado do Espírito Santo, estrutura esta que está em contato direto e permanente à água da baía e exposto a níveis de agressividade marinha; desta forma buscou-se também identificar as causas dos danos, através da análise da água e retirada de testemunho de concreto, da área de interesse, para análises físico-químicas. Localizado na cidade de Vitória, Estado do Espírito Santo e bairro Ilha do Príncipe, o terminal rodoviário que foi investigado entre os anos de 2017 e 2018 pela equipe pesquisadora, foi construído na década de 1970, sendo um dos principais meios para embarques e desembarques de passageiros do transporte rodoviário do Estado.

MATERIAL E MÉTODOS

Para o estudo em destaque foi escolhida uma região à costa, com estrutura inserida permanentemente à baía, sendo localizada na cidade de Vitória – Espírito Santo. A Ilha de Vitória, com coordenadas 20°19'S e 40°20'W, está situada dentro da região estuarina pelos conjuntos de rios de médio porte: rio Santa Maria e Vitória, e rios de pequeno porte: rios Bubu, Itanguá, Marinho e Aribiri que, com o aporte marinho proporcionam o ambiente típico como o manguezal que, atualmente ocupa, somente 20% dos mangues do Estado do Espírito Santo. A atmosfera da região é marinha, com água salobra e clima tropical com temperatura mínima de 15°C e máximo de 28°C.

O estudo de caso é uma estratégia muito utilizada quando são examinados acontecimentos contemporâneos e sem a manipulação dos comportamentos. O método de estudo de caso utiliza condições contextuais, sendo altamente pertinente identificar a causa e as consequências do estudo. Assim, a estratégia de pesquisa adotada para o projeto desenvolvido foi a qualitativa, em especial o estudo de caso (YIN, 2003).

Após vistoria preliminar com realização de um levantamento superficial das manifestações patológicas com objetivo de avaliar o grau de deterioração que a estrutura do Terminal Rodoviário Carlos Alberto Vivacqua havia atingido, foram realizadas: diligências técnicas para levantamento detalhado da estrutura afetada com registro fotográfico de danos corriqueiros, coleta de amostras de água da baía em profundidade de 1 metro para análises químicas em maré alta e maré baixa, além de retirada de testemunho de concreto da estrutura da fundação em contato com a variação de marés.

Os parâmetros físico-químicos: pH, teores de Cloreto e Sulfato foram medidos em laboratório utilizando-se de metodologia *Standart Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 23rd ed., Washington, ALPHA, 2-17, norma CETESB L5015 (1083), ASTM C123. Para ensaios de parâmetros da água as informações são baseadas na metodologia contida em bibliografia de Millero (2013) para os índices ensaiados, cujos valores são baseados em áreas em que não há contaminação da água do mar (MEDEIROS, 2010).

Diante das classes de agressividade ambiental, estabelece-se cobertura mínima para elementos estruturais e de acordo com a classe de agressividade que a estrutura está inserida conforme NBR 6118 (2014). Quanto maior a proximidade com zona marítima, mais provável é a ação dos íons cloretos ao processo de corrosão em estruturas. As propriedades químicas do

concreto endurecido e exposto a soluções que contenham sulfatos, devem atender critérios estabelecidos em norma técnica brasileira conforme (NBR 12655, 2015).

As propriedades químicas da água devem satisfazer a critérios básicos de limites de cloretos, sulfatos, álcalis, contaminantes conforme NBR 15900 (2009). Para o teor de Sulfato a água ensaiada não deve exceder o limite de 2000 mg/L, e para teor de Cloreto na água é indicado que não se exceda 1000 mg/L. Em relação aos ensaios, a determinação dos índices seguiram: para Cloretos NBR 15900-6 (2009), para Sulfatos NBR 15900-7 (2009).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após as medições realizadas é possível dizer que os parâmetros pH, teores de Cloretos e Sulfatos da água da baía variaram conforme a flutuação da maré. Comparando os valores de pH, teores de Cloretos e Sulfatos com referências de estudo oceanográfico de Millero (2006) e NBR 15900 (2009), os índices da água da baía de Vitória apresentam valores inferiores aos do estudo de Millero (2006), para teores de Cloretos e Sulfatos e acidez comprovada, e valores superiores aos da norma brasileira para teores de Cloretos e Sulfatos e acidez comprovada. As variações dos valores de Maré Alta e Maré Baixa ainda influenciam diretamente nas medições encontradas no testemunho de concreto para os parâmetros teores de Cloretos e Sulfatos (Tabela 1).

Os índices se justificam em função das alterações da descarga fluvial devido não somente a eventuais chuvas como ao aumento da contribuição de descarga de esgotos residenciais e industriais na baía. O pH do concreto é alcalino, na faixa dos 12,5 e os valores encontrados nos ensaios de água são ácidos, justificando assim a degradação do mesmo. Estando o concreto exposto a um ambiente mais ácido, tendo como consequência a degradação. O pH é baixo nas áreas de corrosão, pois o Cloreto é um catalisador para a redução do pH. Os altos teores de Sulfato refletem na despassivação da armadura no concreto e são corriqueiros nas regiões costeiras agravados pelo movimento de marés (GENTIL, 2003; GENTIL, 2003).

Comparando os valores de teores de Cloretos e Sulfatos, tomando como referência a NBR 12655 (2015), se identifica que os altos índices de cloretos e sulfatos associados à acidez da baía, configuram-se nos fatores de causa das manifestações patológicas, como a degradação do concreto, o estágio avançado de corrosão e expansão do aço, com o consequente deslocamento do cobrimento do concreto (Figura 1).

Tabela 1. Parâmetros com respectivos métodos, resultados e comparativos técnicos correspondentes

Parâmetro	Método	Resultado em Maré Alta	Resultado em Maré Baixa	Concentração (Millero.2006)	Teor máximo (ABNT NBR 12655.2015)
Teor de Cloretos (mg/l)	SMWW 4500 Cl ⁻ B	19000	18200	19352,9	-
Teor de Sulfatos (mg/l)	SMWW 4500 SO ₄ ²⁻ E	2427	2157,5	2712,4	-
pH - Índice de acidez	SMWW 4500 H ⁺ B	8,05	7,55	8	-
Teor de Sulfatos (% sobre a massa)	ABNT NBR 12655 (2015)	0,2	0,2	-	1,0×10 ⁻⁵ a 2,0×10 ⁻⁵
Teor de Cloretos (% sobre a massa)	ABNT NBR 12655 (2015)	0,9	0,9	-	0,15

Figura 1. Evidência da expansão da armadura na faixa de variação da maré, devido às sucessivas e frequentes imersões temporárias do concreto estrutural em água com altos teores de cloretos e sulfatos



A corrosão ocorre após a perda da camada passivadora, e essa perda, neste estudo de caso é causada pela presença do íon cloreto (Cl^-) em quantidade suficiente para romper a película protetora. Os cloretos presentes tanto na atmosfera quanto na água da baía formam um ambiente agressivo ao concreto, que ao se depositarem na superfície penetram pela estrutura até que atinjam o aço da armadura. A corrosão da armadura ocorre quando a quantidade de cloretos presentes no meio atinge o valor crítico na porção de concreto, e conforme adotado em Norma técnica, o valor encontrado em ensaio superou em 600% o valor crítico o que comprova que a estrutura submetida a um ambiente de tamanha agressividade, justifica o avançado estado de corrosão e consequente perda da vida útil. Apesar de haver discussões técnicas sobre o valor crítico de cloretos na porção de concreto, alguns estudiosos usam o teor de 0,4%, e mesmo com um padrão de 0,4% o índice encontrado ultrapassaria em 225% o valor crítico (NEVILLE, 1997; GONZÁLES *et al.*, 1996).

A redução do pH do meio onde o concreto armado se encontra é de grande importância, visto que quanto mais reduzido o pH maior a taxa de corrosão. Visto que a estrutura avaliada está localizada em ambiente externo mais seco que o interno consequentemente a água evapora e os sais ficam contidos nos poros da estrutura e, por gradiente de concentração a tendência é de que o sal se desloque para a zona de menor concentração, isto é para o interior da estrutura. Os ciclos de imersão e de secagem, que configuram os movimentos de marés, provocam assim o processo corrosivo da armadura ao passo que a concentração dos sais cloretos passa a ser maior no interior da estrutura e como são comprovados nos dados apresentados (NEVILLE, 1997).

CONCLUSÃO

Os altos índices de teor de Cloretos e Sulfatos associados à acidez da baía na massa de concreto investigada justificam as manifestações patológicas da estrutura que se encontra em estágio avançado de corrosão do aço com expansão e consequente deslocamento do cobrimento do concreto. Os materiais sólidos em suspensão configuram a ação física sobre a estrutura, quando pelo processo de abrasão devido o movimento de maré, que retira o cobrimento de concreto, já degradado.

Configuram como causa das manifestações patológicas, os contaminantes: teores de Cloretos e Sulfatos, pH ácido, suspensão de materiais sólidos, presença de efluentes residuais diretos. As consequências são as manifestações patológicas identificadas e evidenciadas. Os altos índices de Cloreto comprovam que a camada de cobrimento do concreto foi destruída pelo agente e deixando o aço suscetível ao processo de despassivação por corrosão, afetando

diretamente o desempenho e a vida útil da estrutura de concreto armado, visto que a seção do aço é reduzida.

Em geral, o sistema estrutural da rodoviária apresenta condições de desempenho comprometidas e preocupantes, na medida em que foram constatadas anomalias construtivas com origem endógenas agravadas por falhas de manutenção, devido a não intervenção preventiva e corretiva, para combater os efeitos deletérios das condições e intensidade de uso. A situação encontrada denota, portanto, a ausência de um sistema de manutenção periódica, seja preventiva ou corretiva.

É preciso avançar na avaliação de outros contaminantes na baía de Vitória, tais como: resíduos industriais e residenciais, matéria orgânica, Fósforo, Fosfatos, Nitratos, Nitritos, entre outros. Portanto recomenda-se o avanço nos ensaios, inclusive de fenoftaleína para a avaliação da profundidade da frente de carbonatação do concreto.

AGRADECIMENTOS

Em especial ao Engenheiro Civil Jaime Oliveira Veiga por viabilizar meios para que a pesquisa fosse realizada, através do programa “Capacitando para o Mercado e para o Futuro”; à Associação Brasileira de Engenheiros Civis do Estado do Espírito Santo (ABENC-ES) e Sindicato dos Engenheiros no Estado do Espírito Santo.

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12655; **Concreto de cimento Portland** – Preparo, controle, recebimento e aceitação – Procedimento. ABNT, 2015.
- _____.NBR 15900-6; **Água para amassamento do concreto** – Parte 6: Análise química – Determinação de cloreto. Rio de Janeiro, 2009.
- _____.NBR 15900-7; **Água para amassamento do concreto** – Parte 7: Análise química – Determinação de sulfato. Rio de Janeiro, 2009.
- _____.NBR 6118; **Projeto de estruturas de concreto** - Procedimento. Rio de Janeiro, 2014
- GENTIL, V. **Corrosão**. Rio de Janeiro: LTC, 2003. 341 p.
- GOMES, G.J.C.; MAINIER, F.B.; PONTUAL, L.V. **A durabilidade de estruturas de concreto diante ao ataque de íons sulfato**. Rio de Janeiro, 2018.
- GONZALES, J.A.; FELIÚ, S.; RODRIGUEZ, E.; ALONSO, C.; ANDRADE, C. **Some questions on the corrosion of steel in concrete** – Part I: when, how and now much steel corrodes. Materials and Structures. Vol 29 January-February, 1996a, p.40-46.
- HELENE, P. **A nova NB 1/2003 (NBR 6118) e a vida útil das estruturas de concreto**. São Paulo, 2003.
- LAPA, J. **Patologia, recuperação e reparo das estruturas de concreto**. Belo Horizonte: UFMG, 2008.
- MEDEIROS, H. **Doenças concretas**. Revista Técnica on-line.2010. Disponível em: <http://techne17.pini.com.br/engenharia-civil/160/artigo287763-2.aspx>. Acesso em: 26 out. 2018.
- MILLERO, F. J. **Chemical Oceanography**. 4 ed. New York: CRC Press, 2013
- NEVILLE, A.M. **Propriedades do concreto**. São Paulo, PINI, 1997. 828 p.
- YIN, R.K. **Estudo de caso: planejamento e métodos**. 2.ed. Porto Alegre : Brokman, 2001.