

MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO COM 60 ANOS EM AMBIENTE MARINHO

Carlos E. T. Balestra (ITA) E-mail: carlosbalestra@hotmail.com

Maryangela G Lima (ITA) E-mail: magdlima@gmail.com

Ronaldo A Medeiros-Junior (ITA) E-mail: ronaldodemedeirosjr@yahoo.com.br

Resumo: Este artigo trata das manifestações patológicas de estruturas reais de concreto degradadas naturalmente à décadas em ambiente marinho. A metodologia contempla a inspeção das estruturas, ensaios de esclerometria e resistividade elétrica superficial. As principais manifestações patológicas verificadas foram: corrosão das armaduras, fissuração, desagregação do concreto e eflorescências. Colapsos parciais de estruturas foram verificados em alguns casos devido ao grau avançado da corrosão das armaduras. Os ensaios realizados mostraram que o nível de agressividade varia de modo significativo de acordo com a zona de agressividade marinha onde a estrutura de concreto está presente.

Palavras-chave: Durabilidade, Ambiente Marinho, Cloretos.

PATHOLOGICAL MANIFESTATIONS OF REINFORCED CONCRETE STRUCTURES WITH 60 YEARS OLD IN THE MARINE ENVIRONMENT

Abstract: This article deals with the pathological manifestations of real concrete structures naturally degraded for decades in marine environment. The methodology includes the inspection of the structures, sclerometry tests and electrical resistivity tests. The main pathological manifestations found were: reinforcement corrosion, cracking, concrete disaggregation and efflorescence. Partial collapses of structures were observed in some cases due to severe corrosion of the reinforcement. The tests showed that the aggressiveness level vary significantly according to the aggressive marine zone where the concrete structure is present.

Keywords: Durability, Marine Environment, Chlorides.

1. INTRODUÇÃO

A evolução tecnológica do concreto ao longo das últimas décadas é notável, onde podem ser citados os concretos de ultra alto desempenho, autoadensáveis, autocicatrizantes, hidrófugos e com agregados reciclados (Repetto, 2005). Entretanto, em paradoxo a estes avanços, as manifestações patológicas observadas em estruturas de concreto ainda são amplamente recorrentes em todas as partes do mundo, envolvendo aportes financeiros representativos quanto a manutenção e reabilitação das mesmas (Medeiros-Junior et al, 2013). De fato, os custos de manutenção e reparo de estruturas em alguns países europeus podem representar até 50% do que os países investem em construção civil (Ueda e Takewaka, 2007).

Mediante este panorama, diversas pesquisas na área de durabilidade e vida útil das estruturas de concreto têm sido desenvolvidas, principalmente a respeito das estruturas presentes em ambiente marinho, devido à agressividade deste ambiente que contempla ataques físicos, pela ação mecânica das ondas e substâncias em suspensão que colidem contra as mesmas, e químicos, pela ação das espécies químicas presentes na água do mar, que reagem com os constituintes hidratados da pasta de cimento ou ainda promovem a corrosão das armaduras no caso das estruturas de concreto armado (Mehta e Monteiro, 2008, Medeiros-Junior et al, 2015a).

O ambiente marinho é prescrito em diversas normas, como por exemplo, a NBR 6118 (2014) e ACI 318 (2014), como um ambiente de elevada agressividade às estruturas de concreto. Cabe salientar que embora as normas alertem para a agressividade do ambiente marinho, diversos estudos ressaltam que a subdivisão deste ambiente em microclimas pode ser necessária para tratar da agressividade às estruturas de concreto (Ghods et al, 2005; Castro-Borges et al, 2013; Wang et al, 2013; Medeiros-Junior et al, 2015a).

A subdivisão do ambiente marinho pode ser feita em quatro zonas principais: atmosfera marinha, respingos, variação de maré e submersa. Na primeira zona as estruturas não estão em contato direto com a água do mar, porém sua degradação decorre principalmente pela deposição de gotículas de água carregadas com sais que se assentam sobre sua superfície. Na zona de respingos as estruturas estão sujeitas a molhagem de suas superfícies pelos respingos das ondas. A zona de variação de maré está compreendida entre os níveis máximos e mínimos alcançados pela maré e na zona submersa as estruturas estão permanentemente em contato com a água do mar (Mehta e Monteiro, 2008; Samarakoon e Ratnayake, 2013).

Mesmo sendo reconhecido como um meio altamente agressivo às estruturas de concreto armado, plataformas marítimas vem sendo construídas nos mares ao longo dos últimos anos visando alocar novos aeroportos, depósitos de lixo e usinas elétricas, aumentando assim o número de estruturas expostas aos efeitos do ambiente marinho (Mehta e Monteiro, 2008). Além destes, podemos citar ainda a existência de outras estruturas construídas em partes ou totalmente em concreto armado, como por exemplo, plantas de geração de energia nuclear, píers, pontes e plataformas offshore destinadas à extração de petróleo que podem ser construídas afastadas da linha de costa (Oh e Jang, 2007; Da Costa et al, 2013; Samarakoon e Ratnayake, 2013; Li e Shao, 2014).

Cabe ressaltar que a inspeção em estruturas reais de concreto presentes em ambiente marinho é uma tarefa árdua, tendo em vista as dificuldades de acesso às partes das estruturas presentes em diferentes zonas de agressividade marinha que, por vezes, podem exigir a paralização das atividades desenvolvidas. Desta forma, muitos estudos que tratam da agressividade do ambiente marinho às estruturas de concreto são realizados sob condições de laboratório controladas ou em corpos de prova com dimensões reduzidas expostos ao ambiente natural.

Considerando a exposição das estruturas de concreto armado ao ambiente marinho, a corrosão induzida por cloretos é a principal forma de degradação destas estruturas. Neste caso, os cloretos penetram a camada de cobrimento das estruturas por mecanismos de absorção capilar e difusão, até chegar a região das armaduras. Quando a concentração de cloretos excede uma determinada concentração crítica, o processo corrosivo encontra condições adequadas para seu desenvolvimento, levando assim a uma redução progressiva da seção transversal das armaduras e consequente redução da capacidade portante das estruturas (Broomfield, 2007; Mehta e Monteiro, 2008; Angst et al, 2009; Medeiros et al, 2013; Balestra, 2013; Medeiros-Junior et al, 2015b).

Sob a perspectiva do concreto, a presença de íons magnésio e sulfatos na água do mar também podem levar à sua degradação. Neste caso, o ataque por íons magnésio pode acarretar em reações de troca catiônica, resultando na formação de produtos não cimentícios, como o silicato de magnésio hidratado. O ataque por sulfatos, por sua vez, pode gerar a formação de etringita e, conseqüentemente, levar à fissuração e desagregação do concreto, facilitando a entrada de íons agressivos no mesmo (Mehta e Monteiro, 2008; Neville, 2013; Maes e De Belie, 2014).

Mediante este contexto, o presente artigo apresenta as manifestações patológicas encontradas nas principais estruturas de concreto armado presentes na Ilha dos Arvoredos, na cidade de Guarujá, litoral sul do Estado de São Paulo, Brasil, por meio de inspeções visuais em estruturas de concreto presentes em diferentes pontos da Ilha. Estas estruturas foram construídas na década de 50 e permaneceram em ambiente marinho sob condições naturais de degradação. Além disso, em elementos estruturais presentes em diferentes zonas de agressividade marinha foram realizados ensaios de esclerometria e resistividade elétrica superficial.

Uma análise do posicionamento das estruturas em relação à direção predominante dos ventos também faz parte do escopo deste trabalho com o objetivo de relacionar este dado com as manifestações patológicas verificadas. O vento, neste contexto, é o principal agente responsável pela formação e transporte da névoa salina, constituída por gotículas de água contendo sais, oriundas da agitação do mar. Estas gotículas, ao serem transportadas pelo vento, se depositam sobre as estruturas de concreto que não estão em contato direto com a água do mar. A partir disto, os cloretos, por mecanismos de absorção capilar e difusão, penetram o concreto através da rede de poros até atingir a região das armaduras, podendo assim, criar condições para desencadear seu processo corrosivo (Morcillo et al, 2000; Cole et al, 2003; Meira et al, 2010).

2. BREVE APRESENTAÇÃO DO LOCAL DE ESTUDO

A Ilha dos Arvoredos é uma formação rochosa com aproximadamente 37 mil metros quadrados, distante à aproximadamente 1,6 km da costa, onde estão catalogadas 97 estruturas de concreto armado construídas na década de 50 em diferentes zonas de agressividade marinha (Caldas, 2000).

Na década de 50, a Ilha dos Arvoredos foi concedida pela Marinha do Brasil ao Engenheiro Fernando Eduardo Lee para fins científicos, onde, dentre as pesquisas desenvolvidas na Ilha, podem ser destacadas aquelas relativas à auto-suficiência em energia e água potável e estudos na área das Ciências Biológicas (Caldas, 2000). Desta forma, diversas estruturas de concreto armado foram construídas na época para fornecer uma infraestrutura às atividades desenvolvidas no local. Estas estruturas são atualmente foco de pesquisas na área da durabilidade e vida útil das estruturas de concreto, tendo em vista que são estruturas degradadas sob condições naturais a décadas.

A Figura 1 apresenta a localização da Ilha dos Arvoredos e a Figura 2 apresenta as principais estruturas de concreto construídas na Ilha; são elas: Reservatório, Piscina, Viveiro de Aves, Oficina, Farol, Residência, Guindaste e Plataforma. Esta nomenclatura será utilizada para designar as estruturas de concreto analisadas neste estudo.

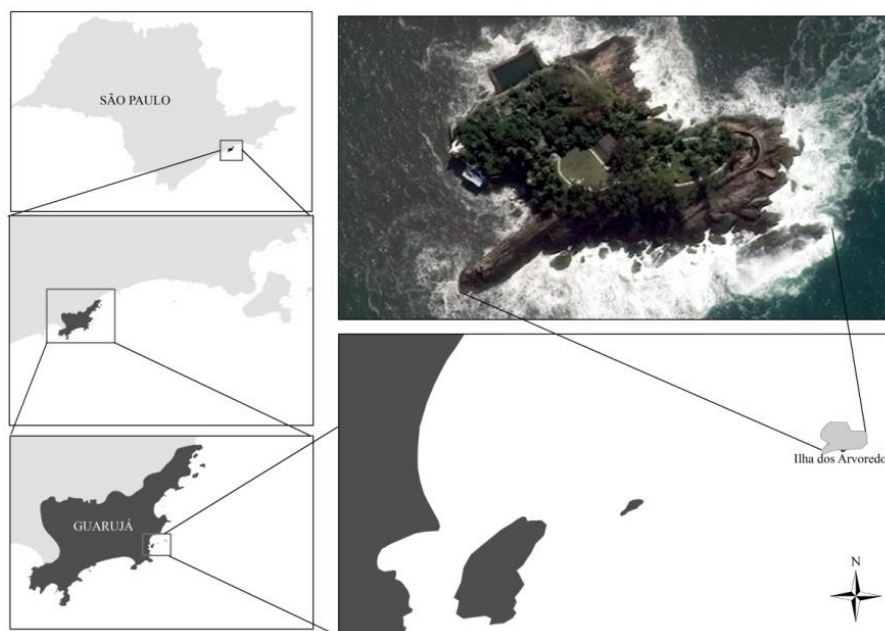


Figura 1 - Localização da Ilha dos Arvoredos.



Figura 2 - Principais construções presentes na Ilha dos Arvoredos (Google, 2015).

3. PROGRAMA EXPERIMENTAL

A coleta de dados foi feita através da inspeção visual e fotográfica das construções presentes na Ilha dos Arvoredos, buscando verificar as manifestações patológicas nestas estruturas, observando também sua orientação segundo o norte magnético com uso de uma bússola. No caso específico do aparecimento de fissuras, estas tiveram sua espessura medida com um fissurômetro.

A direção predominante do vento foi analisada com uso dos dados de uma estação meteorológica posicionada no topo do farol da Ilha, onde são monitoradas a direção predominante e velocidade dos ventos.

A estrutura da plataforma apresenta elementos de concreto em diferentes zonas de agressividade marinha voltadas para a mesma direção. Nestes elementos foram realizados ensaios de esclerometria (NBR 7584) e resistividade elétrica superficial pelo método dos quatro pontos (RILEM TC-154-EMC).

A Figura 3 apresenta as partes da estrutura em diferentes zonas de agressividade marinha e pontos de análise onde foram realizados os ensaios (P1, P2 e P3).

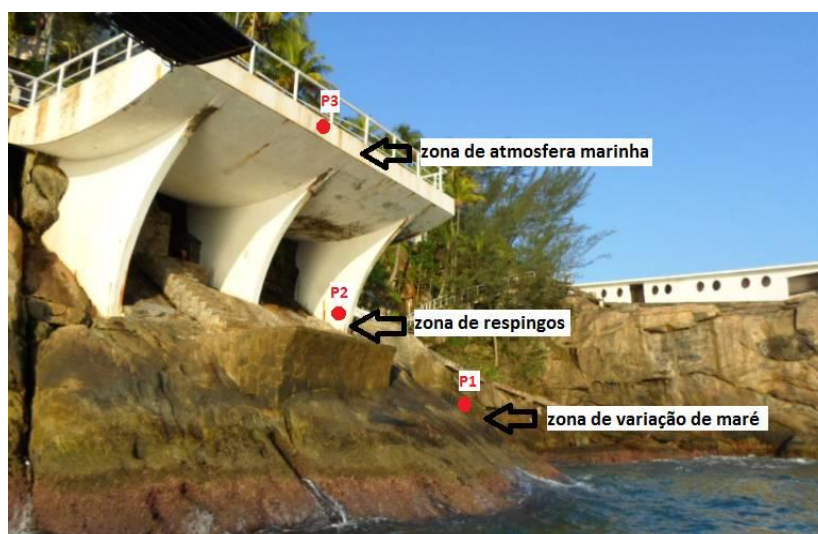


Figura 3 - Pontos de análise da plataforma.

Os resultados obtidos no ensaio de resistividade elétrica superficial foram comparados aos valores limite prescritos pelo CEB-FIB Bulletin D'Information n° 192 (1989) conforme apresentado na Tabela 1.

Tabela 1 - Valores de resistividade elétrica superficial do concreto segundo CEB-FIB Bulletin D'Information n° 192 (1989).

Resistividade do concreto ($K\Omega.cm$)	Probabilidade de corrosão
>20	Desprezível
10 a 20	Baixa
5 a 10	Alta
< 5	Muito alta

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Direção predominante e velocidade dos ventos

A direção predominante dos ventos é Nordeste (NE) atingindo velocidades de até 96 km/h registradas pela estação meteorológica. A Figura 4 apresenta a direção do norte magnético e a direção dos ventos predominantes.



Figura 4 - Direção do norte magnético e dos ventos predominantes.

4.2 Manifestações patológicas verificadas na Ilha dos Arvoredos

Em ordem decrescente de incidência, as principais manifestações patológicas encontradas nas estruturas da Ilha dos Arvoredos são: corrosão das armaduras, fissuração, desagregação do concreto e eflorescências. Estas manifestações patológicas foram verificadas nas seguintes estruturas: Piscina, Oficina, Residência, Farol, Guindaste e Plataforma, conforme descrito a seguir.

4.2.1 Piscina

A estrutura da piscina localiza-se voltada para a direção Nordeste (NE) e em zona de variação de maré, sendo dotada de um muro de concreto com 1,5 metros de espessura. Nesta estrutura foram verificadas manchas de eflorescência em suas faces internas e erosão nas faces externas devido ao impacto das ondas contra sua superfície. Todavia, cabe discutir que os danos devido à erosão não foram severos devido às formações rochosas existentes à frente desta estrutura que acabam atenuando o impacto das ondas contra sua superfície. A Figura 5 apresenta as manifestações patológicas verificadas nesta estrutura.

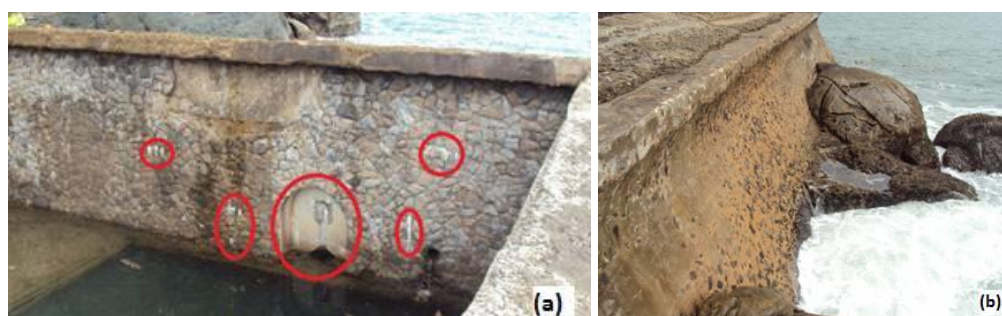


Figura 5. Manifestações patológicas verificadas na estrutura da piscina. (a) face interna com eflorescências; (b) erosão em face externa.

4.2.2 Oficina

A estrutura da oficina apresenta suas faces voltadas para a direção SW e NE e localiza-se a uma altura de aproximadamente 10 metros em relação ao nível médio da maré.

Esta estrutura apresenta severa corrosão das armaduras em diversos elementos estruturais como lajes, pilares e vigas, com sérios danos a sua integridade, conforme observado na Figura 6. Nesta estrutura foram verificadas fissuras com espessura de até 15 mm e o colapso parcial de uma laje devido à intensa corrosão que chegou a seccionar suas armaduras.



Figura 6 - Manifestações patológicas verificadas na estrutura da oficina. (a) Colapso parcial de uma laje devido à corrosão; (b) Fissuração e corrosão em pilar e viga.

Embora a oficina esteja construída sobre uma formação rochosa a uma altura de aproximadamente 10 metros em relação ao nível médio da maré, sua estrutura recebe grande contribuição dos respingos das ondas do mar. Este fato está associado a sua localização geográfica, que está alinhada à direção predominante dos ventos. Neste caso, as ondas formadas colidem com grande intensidade sobre a formação rochosa gerando os respingos que atingem a mesma e contribuem para à sua degradação. Os respingos das ondas aliados à grande disponibilidade de oxigênio tornam esta região uma das mais agressivas às estruturas de concreto armado sob a óptica da corrosão das armaduras. Fato este comprovado pela severa degradação observada na estrutura da oficina.

4.2.3 Residência

A residência da Ilha encontra-se na zona de atmosfera marinha com suas fachadas completamente revestidas por pedra e voltadas para a direção leste (E), não sendo observadas manifestações patológicas na mesma. Por outro lado, a passarela de acesso à residência foi construída em concreto armado e apresenta sérios danos em seus pilares e vigas devido à intensa corrosão de suas armaduras e desagregação do concreto, conforme observado na Figura 7.



Figura 7 - Corrosão das armaduras nos pilares da passarela de acesso à residência.

A estrutura da passarela de acesso encontra-se em zona de atmosfera marinha, porém está localizada próxima da região com maior incidência de ondas. Desta forma, esta estrutura acaba recebendo uma grande deposição de cloretos por conta da névoa salina.

4.2.4 Farol

A estrutura do farol localiza-se no ponto mais alto da Ilha, em zona de atmosfera marinha. Sua fachada externa é revestida completamente por pastilhas cerâmicas que protegem a mesma; por outro lado, as vigas internas do farol que suportam as escadas de acesso ao topo são executadas em concreto armado e apresentam intensa corrosão de suas armaduras e desagregação do concreto, conforme observado na Figura 8.



Figura 8 - Corrosão das armaduras de vigas internas no farol.

Mais uma vez nota-se a agressividade do ambiente marinho ao concreto armado. Apesar de estar na zona de atmosfera marinha, os cloretos presentes na névoa salina são carregados pelo vento e se depositam na superfície do concreto, penetrando pela camada de cobrimento até atingir as armaduras. Cabe ressaltar que essa não é uma particularidade de estruturas offshore. Meira et al. (2010) mostraram que o aerossol marinho pode ser levado pelo vento para as

primeiras faixas de solo, sendo mais importante para os primeiros 200 metros a partir da linha da costa.

4.2.5 Guindaste

O guindaste é uma estrutura que está voltada para a direção Oeste (W) e encontra-se em zona de atmosfera marinha. Este está suportado por uma base de concreto armado, sendo que as manifestações patológicas verificadas nesta estrutura são o aparecimento de manchas de corrosão e eflorescência na face inferior da base, conforme apresenta a Figura 9. Neste caso, a corrosão observada pode ser atribuída à deposição de sais sobre a superfície da estrutura que adentram o concreto e desencadeiam um processo corrosivo das armaduras. As manchas de eflorescência são decorrentes da água de chuva que penetra o concreto a partir de sua face superior e lixivia os compostos hidratados da pasta de cimento. É importante destacar que não foi verificado o destacamento do concreto para essa estrutura. Isso demonstra que o grau da corrosão é mais ameno quando comparado com outras estruturas onde a corrosão está mais avançada e o concreto armado está praticamente todo desintegrado, como na oficina, por exemplo.



Figura 9 - Manifestações patológicas observadas na base do guindaste.

4.2.6 Plataforma

A plataforma está orientada para a direção Oeste (W) e concentra partes de sua estrutura em diferentes zonas de agressividade marinha, conforme mostrado na Figura 3. As manifestações patológicas verificadas nesta estrutura são manchas de corrosão das armaduras e fissuras com espessura média da ordem de 0,3 mm. A Figura 10 apresenta as manifestações patológicas verificadas nesta estrutura.



Figura 10 - Manifestações patológicas observadas na estrutura da plataforma.

4.3 Ensaios de esclerometria e resistividade elétrica superficial

A Tabela 2 apresenta os índices esclerométricos e os valores de resistividade elétrica superficial do concreto obtidos nos pontos de análise P1, P2 e P3 (ver Figura 3). Como se trata de ensaios não destrutivos, os valores apresentados na Tabela 2 representam a média de várias leituras.

Tabela 2. Índices esclerométricos e valores de resistividade elétrica superficial do concreto.

Ponto	Índice esclerométrico	Resistividade Elétrica Superficial ($k\Omega.cm$)	Zona de Agressividade Marinha
P1	35,8	3,4	Variação de maré
P2	33,1	21,6	Respingo
P3	33,1	26,9	Atmosfera

Os valores correspondentes aos índices esclerométricos se mostraram próximos para os três valores obtidos nos pontos de análise. Isto indica que o concreto utilizado na execução dos elementos estruturais da plataforma apresentam características semelhantes de homogeneidade independentemente de sua posição em relação às zonas de agressividade marinha. Tal fato indica que a mesma metodologia construtiva foi utilizada para a execução dos elementos nesta estrutura e que, além disso, mesmo apresentando elementos estruturais em diferentes zonas de agressividade marinha sujeitos à diferentes níveis de agressividade, os valores de índices esclerométricos não apresentaram variação expressiva.

A resistividade elétrica superficial indica a habilidade do concreto em permitir a circulação de cargas elétricas no seu interior e pode ser usada como um fator para indicar a permeabilidade do concreto quanto à penetração de agentes agressivos, consequentemente, relacionada a corrosão das armaduras (Medeiros-Junior e Lima, 2016). Segundo a Tabela 2, a resistividade elétrica superficial apresentou variação significativa entre o ponto P1 e os demais pontos analisados. Neste caso, as partes da estrutura presentes em zona de variação de maré

apresentam o menor valor de resistividade elétrica superficial devido a maior umidade presente nos poros do concreto, principalmente nas camadas superficiais que, aliada a grandes concentrações de íons cloretos, acabam contribuindo para diminuir esse parâmetro. Isto demonstra que as estruturas presentes em zona de variação de maré estão mais susceptíveis à corrosão de suas armaduras.

Comparando os valores de resistividade elétrica superficial com os valores apresentados na Tabela 1 é possível inferir que, sob a perspectiva da resistividade elétrica superficial, as estruturas presentes em zona de variação de maré apresentam uma probabilidade de corrosão muito alta, ao passo que nas demais zonas o risco de corrosão seria desprezível, segundo a referida classificação. Todavia, segundo o estado de corrosão observado nos elementos desta estrutura, onde foram observadas fissuras e manchas decorrentes do processo corrosivo das armaduras, é possível observar que a análise isolada de parâmetros de resistividade elétrica superficial é insuficiente para representar a probabilidade de corrosão em estruturas presentes em diferentes zonas de agressividade marinha em condições naturais. Desta forma, a avaliação de outros parâmetros como a concentração de cloretos na periferia das armaduras, as condições de microclima do local e regimes de ciclos de molhagem e secagem são fundamentais no estudo sobre a probabilidade de corrosão de estruturas presentes em ambiente marinho.

Contudo, segundo os resultados desta pesquisa, os resultados do ensaio de resistividade elétrica superficial indicam que a zona de variação de maré é a mais agressiva às estruturas de concreto sob a óptica da corrosão das armaduras, concordando com outros estudos (Ghods et al, 2005; Medeiros-Junior et al, 2015a). Os ciclos de molhagem e secagem ao qual a zona de variação de maré está sujeita contribuem para acelerar a penetração dos cloretos no concreto, além de fornecer uma maior fonte de cloretos por estar em contato direto com a água do mar.

5. CONCLUSÕES

Segundo os resultados deste artigo, as principais manifestações patológicas verificadas nas estruturas estudadas foram: corrosão das armaduras, fissuração, desagregação do concreto e eflorescência, sendo que em alguns casos, a corrosão levou ao colapso de estruturas, mesmo estas estando posicionadas a uma cota 10 metros superior ao nível médio da maré. As estruturas alinhadas com a direção predominante dos ventos apresentaram os casos de corrosão mais severa em suas estruturas, evidenciando que o vento é uma variável importante a ser analisada para avaliar a durabilidade de estruturas presentes em ambiente marinho. Os ensaios de esclerometria realizados mostraram similaridades entre os concretos analisados, porém os valores de resistividade elétrica superficial variaram consideravelmente segundo a posição da estrutura em relação às zonas de agressividade marinha, sendo que as estruturas presentes em zona de variação de maré apresentaram os menores valores.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA), à Universidade de Ribeirão Preto (UNAERP), à Fundação Fernando Lee e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo fomento à pesquisa. Ao prof. Dr. Marcelo De Julio em memória.

REFERÊNCIAS

Angst U.; Elsener B.; Larsen C.; Vennesland O. *Critical Chloride Content in Reinforced Concrete – A Review. Cement and Concrete Research*, v.39, n.12, p.1122-1138, 2009.

ACI 318 Reinforced concrete design manual. Farmington Hills. Miami. 524p., 2014.

Balestra, C. E. T. *Influência do grau de corrosão na resistência à tração de armaduras – Estudo de caso das fundações da nova Ala Zero do ITA*. Dissertação (mestrado). Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA): p.172, 2013.

Bromfield, J. P. *Corrosion of Steel in Concrete – Understanding, Investigation and Repair*. Taylor & Francis. (London and New York). p.294, 2007.

Caldas, L. M. *Pesquisa da história da Ilha dos Arvoredos e criação da Fundação Fernando Lee*. Acervo da Fundação Fernando Lee. (Guarujá). p.37, 2000.

Castro-Borges P.; Balancán-Zapata M.; López-González A. *Analysis of tools to evaluate chloride threshold for corrosion onset of reinforced concrete in tropical marine environment of Yucatán, México. Journal of Chemistry*, v.2013, p. 1–8, 2013.

Cole I. S.; Paterson D. A.; Ganther W. D. *Holistic model for atmospheric corrosion Part 1- Theoretical framework for production, transportation and deposition of marine salts. Corrosion Engineering, Science and Technology*, v.38, n. 2, p.129-134, 2003.

Comité Euro-Internacional du Béton Bulletin D'Information n°192 Diagnosis and assessment of concrete structures. Lausanne, Thomas Telford, p.130, 1989.

Da Costa A.; Fenaux M.; Fernández J.; Sánchez E.; Moragues A. *Modelling of chloride penetration into non-saturated concrete: Case study application for real marine offshore structures. Construction and Building Materials*, v.43, p.217-224, 2013.

Ghods P.; Chini M.; Alizadeh R.; Hoseini M.; Shekarchi M.; Ramezani pour A. A. *The effect of different exposure conditions on the chloride diffusion into concrete in the Persian Gulf Region*. Proceeding of the 3rd International Conference on Construction Materials on Performance, Innovations and Structural Implications. Vancouver, Canada, 2005.

Google Imagens Ilha dos Arvoredos. Disponível em: <http://www.google.com>. Acessado em 25 de agosto de 2016, 2016.

Li J.; Shao W. *The effect of chloride binding on the predicted service life of RC pipe piles exposed to marine environments. Ocean Engineering*, v.88, p.55-62, 2014.

Maes M.; De Belie N. *Resistance of concrete and mortar against combined attack of chloride and sodium sulphate. Cement and Concrete Composites*, v.53, p. 59-72, 2014.

Medeiros M. H. F.; Gobbi A.; Réus G. C.; Helene, P. *Reinforced concrete in marine environment: Effect of wetting and drying cycles, height and positioning in relation to the sea shore. Construction and Building Materials*, v.44, p. 452-457, 2013.

Medeiros-Junior R. A.; Lima, M. G.; Balestra C. E. T. *Identificação das principais manifestações patológicas em estruturas de concreto armado pertencentes ao CTA*. IX

Congresso Internacional sobre Patologías y Recuperación de Estructuras (CINPAR). João Pessoa (Brasil): p.1-8, 2013.

Medeiros-Junior R. A.; Lima M. G.; Brito P. C.; Medeiros M. H. F. *Chloride penetration into concrete in an offshore platform-analysis of exposure conditions. Ocean Engineering, v.103, p.78-87, 2015a.*

Medeiros-Junior R. A.; Lima M. G.; Medeiros M. H. F. *Service life of concrete structures considering the effects of temperature and relative humidity on chloride transport. Environment, Development and Sustainability, v.17, p.1103-1119, 2015b.*

Medeiros-Junior R. A.; Lima M. G. *Electrical resistivity of unsaturated concrete using different types of cement. Construction and Building Materials, v.107, p.11-16, 2016.*

Mehta P. K.; Monteiro P. J. M. *Concreto – Microestrutura, propriedades e materiais.* (São Paulo). 3º edição. 674p, 2008.

Meira G. R.; Andrade C.; Alonso C.; Borba Jr J. C.; Padilha Jr M. *Durability of concrete structures in marine atmosphere zones – The use of chloride deposition rate on the wet candle as an environmental indicator. Cement and Concrete Composites, v.32, n.6, p. 427-435, 2010.*

Morcillo M.; Chico B.; Mariaca L.; Otero E. *Salinity in marine atmospheric corrosion: Its dependence on the wind existing in the site. Corrosion Science, v.42, n.1, p.91-104, 2000.*

NBR 6118 *Projeto de estruturas de concreto armado.* Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro, 2014.

NBR 7584 *Concreto endurecido – Avaliação da dureza superficial com esclerômetro de reflexão.* Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro, 2012.

Neville A. M. *Tecnologia do concreto.* (Porto Alegre). 2º edição. 448p, 2013.

Oh B. H.; Jang S. Y. *Effect of material and environmental parameters on chloride penetration profiles in concrete structures. Cement and Concrete Research, v.37, p.47-53, 2007.*

Repetto W. L. *Concreto – Ensino, pesquisa e realizações – Concretos para fins especiais e de última geração.* (São Paulo). IBRACON. Vol. 2. Cap. 25. 1581p, 2005.

RILEM TC-154-EMC *Electrochemical techniques for measuring metallic corrosion". Materials and Structures, v.33, p.603-611, 2000.*

Samarakoon S. M. S. M.; Ratnayake R. M. *Residual service life prediction of offshore concrete structures with chloride-induced damage: the state of the art.* Proceedings of the ASME. 32nd International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering. Nantes (France): pp. 1-7, 2013.

Ueda T.; Takewaka K. *Performance-based standard specification for maintenance and repair of concrete structures in Japan. Structural Engineering International, v.4, p.359-366, 2007.*

Wang Y.; Lin C.; Cui Y. *Experiments of chloride ingress in loaded concrete members under the marine environment. Journal of Materials in Civil Engineering, v.26, p. 04014012 (1-7), 2013.*