Anais do Congresso Brasileiro de Patologia das Construções
CBPAT2016

Abril de 2016
ISSN 2448-1459

MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM EDIFICAÇÕES ESCOLARES

M. OLIVEIRA
Mestranda em Engenharia Civil
Unicamp
São Paulo; Brasil
emiliajr@gmail.com

G. CAMARINI
Profª Associada, DAC, FEC
Unicamp
São Paulo; Brasil
gcamarini@gmail.com

RESUMO

Estudos recentes têm mostrado uma crescente preocupação com a concepção, a execução e o uso das edificações escolares. No Estado de São Paulo, a Fundação para o Desenvolvimento Escolar (FDE) é o órgão responsável por gerenciar todo o processo para a implantação de novas escolas. Em 2003 a FDE incorporou expressivas alterações nos projetos de construção de edifícios escolares, adotando a utilização de estruturas pré-fabricadas com o intuito de viabilizar o cumprimento do tempo de construção e obter edificações com mais qualidade. Este trabalho realizou o levantamento e análise das manifestações patológicas em duas escolas estaduais na cidade de Campinas, no intuito de observar essas manifestações em tecnologias construtivas distintas. Uma escola foi concebida com elementos de concreto pré-fabricados e outra com elementos de concreto moldados in loco, avaliando se a adoção do novo modelo estrutural pré-fabricado satisfaz as questões de qualidade construtiva propostas. Inicialmente foram realizadas visitas às instituições com o aporte de registros fotográficos de todos os ambientes dos edifícios seguida da análise visual das anomalias encontradas e a frequência com que as manifestações se apresentaram. Catalogadas em um relatório contendo o tipo de manifestação patológica, analisaram-se as possíveis causas e a origem (falha de projeto, de execução ou de uso). Dos resultados, foi possível identificar que as patologias apresentadas nessas edificações são semelhantes como fissuras em paredes contínuas, fissuras nas interfaces alvenaria/esquadria, fissuras na superfície dos elementos de concreto e infiltrações. A escola de concepção pré-fabricada apresentou uma quantidade significativa de patologias em relação à escola de construção convencional, mesmo tendo dez anos a menos de construção. Manutenções preventivas são necessárias para as escolas manter a durabilidade das construções.
Palavras-chave: manifestações patológicas, edificações escolares, manutenção.

ABSTRACT

Recent studies have shown a growing concern with the design, implementation and use of school buildings. In the State of São Paulo, the Fundação para o Desenvolvimento da Educação (FDE) is responsible for managing all the process for building new schools. In 2003, the FDE incorporated significant changes to projects of school buildings, using prefabricated structures in order to facilitate the fulfillment of construction time and to produce better quality buildings. This work has done a survey and the analysis of pathological manifestations in two schools in Campinas in order to evaluate whether the adoption of the new precast structural model satisfies the quality issues constructive proposals. A school was designed with precast concrete elements and another with conventional concrete structure to observe the pathological manifestations in different construction technologies. First, on-site visits to several schools were carried out to make photographic records of all environments in the buildings, the visual analysis of the anomalies found, and their frequencies. They have been recorded in a report containing the kind of the pathological manifestation, the possible causes and the source (design, execution or in use). The results show that it was possible to identify that the pathologies in both buildings are very similar as cracks in walls, cracks in the masonry/windows interfaces, cracks on the surface of the concrete elements and infiltrations. The precast building shows a significative quantity of problems related to conventional building, even being 10 years younger than the conventional construction. Maintenance is necessary to buildings durability.
Keywords: pathological manifestations, school buildings, maintenance.

Abril de 2016
ISSN 2448-1459

1. INTRODUÇÃO

Quando se trata de edificações escolares, deve-se levar em consideração o conforto nos mais variados aspectos para que os usuários tenham o necessário bem-estar para estimular o aprendizado, proporcionado pelas condições do ambiente do edifício no qual serão desenvolvidas as questões educacionais [1].

No estado de São Paulo, o projeto arquitetônico de escolas para ensino da rede estadual é padronizado pela Fundação para o Desenvolvimento da Educação (FDE). A FDE foi criada em 23 de junho de 1987 pela Secretaria de Educação para garantir o bom funcionamento, o crescimento e o aprimoramento da rede pública estadual de ensino, implementando políticas educacionais e diretrizes para o desenvolvimento de projetos de escolas, desde a concepção, execução até a sua entrega final [2].

Os primeiros edifícios do século 19 até o início dos anos 2000, as edificações escolares eram em concreto aparente, moldados no próprio canteiro de obras, as alvenarias em tijolos cerâmicos e arquitetura simples. Blocos de concreto passaram a ser utilizados na década de 1990, como mais uma opção para a alvenaria de vedação [1].

Em meados de 2003, a FDE inseriu modificações em seus projetos para construção de novas escolas: a ideia era ter a escola aberta à comunidade, com a utilização dos espaços nos fins de semana. Houve a incorporação de quadras poliesportivas cobertas, além da inserção das salas de informática, a nova forma de gestão de projetos/obras e a adoção da pré-fabricação da estrutura dos edifícios. No Brasil, há um entendimento que o uso de pré-fabricados tem a finalidade de reduzir os prazos das obras e obter edificações de melhor qualidade. Apesar disso, deseja-se que as edificações escolares sejam construídas com eficiência, método construtivo de qualidade, havendo igualdade de custos com obras convencionais, e com projetos arquitetônicos com melhores atributos [3].

A patologia "[...] pode ser entendida como parte da engenharia que estuda os sintomas, os mecanismos, as causas e as origens dos defeitos das construções civis [...]" [4]. Quando um problema ocorre no edifício, este se manifesta na forma de um sintoma devido a um desempenho insatisfatório da estrutura ou dos componentes da construção.

Com toda tecnologia desenvolvida e existente no momento, testes e instrumentos possibilitam identificar adequadamente essas manifestações patológicas, descobrindo suas causas e também ações de correção para solução do problema. Porém, deve-se levar em consideração que tais medidas corretivas acrescentam um custo considerável, podendo ultrapassar 40% em relação à quantidade gasta na execução da mesma [5].

As manifestações patológicas nas edificações escolares interferem nas condições do ambiente, tais como temperatura, insolação, ventilação e acústica; que, conseqüentemente, interfere na saúde e no desenvolvimento do aprendizado dos usuários. Dependendo do grau de comprometimento, os aspectos estéticos da edificação também afetam o desempenho escolar, podendo até interferir no ensino-aprendizagem. [6].

Este trabalho observou as manifestações patológicas em tecnologias construtivas distintas de duas edificações escolares, e se o modelo estrutural pré-fabricado, proposto pela FDE, satisfaz as questões de qualidade construtiva.

2. METODOLOGIA

A pesquisa foi realizada na cidade de Campinas, que não possui um clima definido estando numa zona de transição, sendo úmido e seco, apresentando variações ao longo do ano [7]. De acordo com o Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas à Agricultura (CEPAGRI) a cidade possui clima tropical de altitude com temperatura média anual de 22,4ºC e umidade relativa do ar de 47% (média dos anos de 1988 a 2008) [8]. É importante destacar que os fatores climáticos estão associados à questão da durabilidade das edificações e influenciam no surgimento das manifestações patológicas.

A pesquisa foi realizada em duas escolas que se caracterizaram por técnicas construtivas distintas denominadas escola A e escola B.

A escola A está a 12 anos em atividade e possui 4 pavimentos: um pavimento térreo e mais 3 pavimentos (primeiro, segundo e terceiro andar). No térreo constam o pátio, a cantina, os sanitários (alunos e funcionários), refeitório, cozinha, secretaria, diretoria e o grêmio estudantil. O primeiro andar abriga as salas de aula (8 unidades), almoxarifado, depósito,

coordenação e sala dos professores. No segundo pavimento há 4 salas de aula, sala de leitura, sala de reforço, depósito, sala de uso múltiplo e sala de informática. No último andar foi construída a quadra poliesportiva com fechamento em telhas de alumínio. Nesta escola foi utilizada estrutura de concreto pré-fabricado, aparente, sem aplicação de revestimentos. As alvenarias de vedação foram construídas com blocos de concreto e as fachadas receberam apenas pintura. As alvenarias dos sanitários e da cozinha receberam revestimentos cerâmicos.

A escola B possui 22 anos e tem dois pavimentos: térreo e primeiro andar. O térreo é composto por 3 salas de aulas, 5 sanitários (alunos e funcionários, sendo um acessível), 2 sanitários inutilizados servindo de depósito, cozinha, copa, coordenação, secretaria, direção, recepção, depósito, sala dos professores, pátio recreativo e quadra poliesportiva (anexa ao prédio e com fechamento em telhas de alumínio. No segundo pavimento há 8 salas de aulas. Nesta escola as estruturas de concreto foram executadas de modo convencional (moldados in loco), revestidas com pintura. As alvenarias de vedação são compostas por tijolos maciços e nas fachadas são aparentes. As alvenarias dos sanitários, cozinha e copa receberam revestimentos cerâmicos.

A princípio foi realizado um levantamento bibliográfico sobre os tipos de manifestações patológicas em construções convencionais e em pré-fabricadas. Posteriormente ocorreram vistorias onde foram realizados os levantamentos das condições dos prédios das escolas A e B (Figura 1) e, por fim, a listagem das manifestações patológicas encontradas.



Escola A Escola B

Figura 1: Fachadas das escolas A e B

Elaborou-se um relatório para cada escola, que contém as manifestações patológicas e suas variações, as prováveis causas e as origens (falha de projeto, de execução ou de uso). O relatório descreve as manifestações patológicas mais frequentes e suas variações, a quantidade de vezes que foi vizualizada na edificação escolar, a imagem demostrativa e as possíveis causas para que as manifestações ocorressem. Empregou-se a frequência de ocorrência (%) como referencial da análise das manifestações patológicas.

As manifestações observadas, com suas possíveis causas, foram:

- fissuras em alvenarias: orientada e na interface alvenaria/esquadria;
- fissuras nas estruturas de concreto: na superfície da peça;
- nichos de concretagem: nos elementos pré-fabricados;
- descolamento do revestimento cerâmico da alvenaria.

Foram analisados os 44 ambientes na escola A e 32 na escola B. Definiram-se como fontes principais das manifestações patológicas as alvenarias e estruturas de concreto.

Abril de 2016
ISSN 2448-1459

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Observou-se que todos os ambientes apresentaram algum tipo de problema. As Tabelas 2 e 3 descrevem as observações realizadas e o diagnóstico das escolas A e B, respectivamente.

DIAGNÓSTICO DAS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS					
Nome: *Escola A*		**Ano de Construção:** *2004*		**Endereço:** *Campinas*	
Nº de Ambientes: *44*		**Nº de Pavimentos:** *4*		**Tipo Construtivo:** ( ) Convencional (*X*) Pré-Fabricado	
Manifestação Patológica	**Variações**	**Ocorrências**	**Frequência (%)**	**Imagem**	**Causas possíveis**
Fissuras (Alvenarias)	Orientada	34	41,5		Sobrecargas Variações de temperatura Retração Expansão Recalque de fundação Reações químicas
	Interface alvenaria/ esquadria	10	12,2		Quebras de tijolos para adequação da esquadria Preenchimento de argamassa em excesso para adequação da esquadria
Fissuras (Estruturas de Concreto)	Superfície da peça	17	20,7		Retração Expansão Cura térmica
Nichos de Concretagem	Elementos de concreto	14	17,4		Falha no adensamento
Descolamento de Revestimento Cerâmico	Alvenaria	7	8,5		Grau de solicitação do revestimento Falta de esmagamento dos cordões de argamassa
TOTAL		**82**	**100%**		

Tabela 1: Relatório do diagnóstico realizado na escola A

Abril de 2016
ISSN 2448-1459

DIAGNÓSTICO DAS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS					
Nome: *Escola B*		**Ano de Construção:** *1994*		**Endereço:** *Campinas*	
Nº de Ambientes: *32*		**Nº de Pavimentos:** *2*		**Tipo Construtivo:** (*X*) Convencional ( ) Pré-Fabricado	
Manifestação Patológica	**Variações**	**Ocorrências**	**Frequência (%)**	**Imagem**	**Causas possíveis**
Fissuras (Alvenarias)	Orientada	5	9,8		Sobrecargas Variações de temperatura Retração Expansão Recalque de fundação Reações químicas
	Interface alvenaria/ esquadria	19	37,3		Quebras de tijolos para adequação da esquadria Preenchimento de argamassa em excesso para adequação da esquadria
Fissuras (Estruturas de Concreto)	Superfície da peça	15	29,4		Retração Expansão Cura térmica
Nichos de Concretagem	Elementos de concreto	12	23,5		Falha no adensamento
Descolamento de Revestimento Cerâmico	Alvenaria	0	0		
TOTAL		**51**	**100%**		

Tabela 2: Relatório do diagnóstico realizado na escola B

Abril de 2016
ISSN 2448-1459

A Figura 2 ilustra os resultados obtidos nas duas escolas avaliadas.

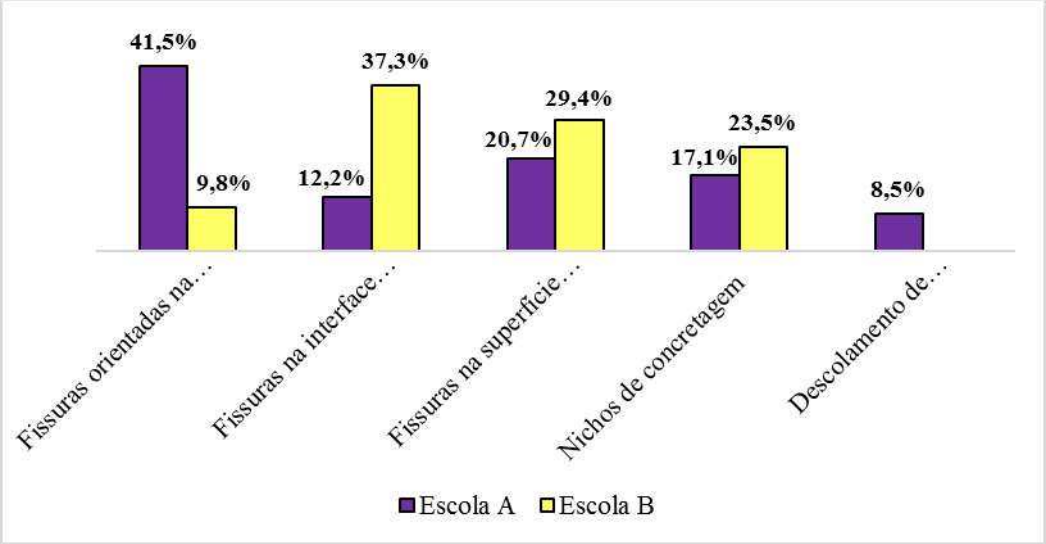

Figura 2: Frequência das manifestações patológicas nas escolas A e B

As manifestações patológicas de maior incidência foram nas alvenarias. Na escola A observou-se que os casos de fissuras orientadas na vertical ocorreram nas paredes internas da edificação, sendo em sua maioria nas salas de aula, de atividades e na secretaria, chegando a uma frequência de 41,5%, que pode ter sido causada por sobrecargas das estruturas de concreto nos blocos [9]. Na escola B evidenciaram-se problemas de fissuras orientadas em poucas alvenarias analisadas (9,8%), tanto na área interna como na externa da edificação.

As fissuras na inteface alvenaria/esquadria (12,2%) fora vistos em diversas alvenarias, principamente nas salas de aula, de atividades e na secretaria, que podem ter como causa principal o preenchimento de argamassa em excesso para o assentamento da esquadria causando fissuras pela diferenciação nas propriedades dos materiais envolvidos [10].

Nas estruturas de concreto foram identificados problemas de fissuras na superfície das peças mais precisamente nas vigas e lajes, de ambas as escolas. Esta manifestação patológica apresentou mais evidência na escola B (29,4%), nas vigas das fachadas, onde há maior exposição dos elementos à solicitações térmicas naturais diferenciadas [11]. Quando tratamos de fissuras em concreto pré-fabricado (20,7%) da escola A, temos que tais problemas surjam pela retração do concreto pelas falhas no processo de cura [4].

Os casos de nichos de concretagem foram observados na escola A (17,1%) entre vigas e lajes; entretanto na escola B foram verificados nichos em pilares e vigas, totalizando 23,5% das peças analisadas. Há dois motivos que levam a ocorrência desse tipo de manifestação: a falha na execução do adensamento do concreto (por formarem pequenas bolhas de ar, deixando o concreto vulnerável a entrade de agentes agressivos) e o momento de desmoldar a peça, que em alguns casos é feito sem cautela [4].

Os descolamentos de revestimento cerâmicos apresentaram 8,5% e foi possível verificar que ocorreu entre o revestimento e a argamassa de assentamento e também exibiram-se soltas em grupo. Podem ter como motivo a falha no assentamento, pelo tempo em aberto da argamassa de fixação estar vencido [12].

Muitos dos danos apresentados poderiam ser minimizados se fosse realizado um melhor controle de qualidade na etapa de execução, uma melhor adequação dos projetos e até mesmo a prática de manutenções periódicas. Pela idade de construção das escolas A (12 anos) e B (22 anos), vê-se que o sistema construtivo pré-fabricado, por ser mais recente e com maior tecnologia, deveria apresentar menor quantidade de problemas. Há de se observar que a realização de manutenção preventiva poderia minimizar e até mesmo eliminar algumas das manifestações patológicas observadas, o que foi observado na escola B, com a realização de pinturas das alvenarias e estrutura de concreto na parte interna, além de reformas nos sanitários.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Analisando de maneira geral, as escolas A e B apresentaram algum tipo de manifestação patológica. As alvenarias demostraram casos alarmantes de fissuras, principalmente na escola A (fissuras orientadas) e na escola B (interface alvenaria/esquadria), que podem ser solucionadas executando melhor acabamento neste processo e respeitando a adequação dos projetos no momento da execução. Os descolamentos de revestimentos cerâmicos podem ser evitados havendo maior controle na execução dos assentamentos, estando atentos aos tempos em aberto da argamassa. O controle de qualidade destas atividades minimiza o surgimento de manifestações patológicas.

Manutenções preventivas são necessárias para que a edificação mantenha as condições de habitabilidade bem como sua vida útil.

A FDE adotou o método pré-fabricado visando melhor qualidade construtiva das escolas, contudo a pesquisa apresentou dados que não confirmam tais argumentos, haja vista que algumas manifestações patológicas apresentaram maiores frequências na escola A em relação a escola B. Além disso, existe uma diferença de 10 anos de idade entre as escolas e a quantidade de problemas encontrados na escola A deveria ser significativamente menor.

6. REFERÊNCIAS

[1] Deliberador, M. S. O processo de projeto da arquitetura escolar no Estado de São Paulo: caracterização e oportunidades**.** 2010. 379 f. Dissertação (Mestrado). Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP. Campinas, São Paulo, 2010.

[2] Beltrame, M. B.; Moura, G. R. S. Edificações escolares: infraestrutura necessária ao processo e aprendizagem escolar. Revista Travessias. Vol. 3, Nº 2. Paraná, 2009

[3] Ferreira, F.; Mello, M. G. Fundação para o desenvolvimento escolar – estruturas pré-fabricadas. Arquitetura Escolar Paulista. São Paulo. FDE, 2006.

[4] Helene, P. Manual de reparo, proteção e reforço de estruturas de concreto. 1ª ed. São Paulo. Editora Rehabilitar. 2003.

[5] Meira, G. R.; Padaratz, I. J. Custos de recuperação e prevenção em estruturas de concreto armado: uma análise comparativa. In Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 15, 2014, Maceió. Anais... Maceió: ENTAC, 2014.

[6] Bender, L. FUNDAÇÃO PARA O DESENVOLVIMENTO DA EDUCAÇÃO: práticas mais sustentáveis na construção civil. Revista de Arquitetura da IMED. V. 2, Nº 2, p. 208-2014. Pelotas, 2013.

[7] Chvatal, K. M. S. *et al*, Estudo do clima de Campinas: a dificuldade de caracterização e proposição de recomendações e projeto para climas compostos. In Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 8, 200, Salvador. Anais... Salvador: ENTAC, 2000.

[8] http://www.cepagri.unicamp.br/outras-informacoes/clima-de-campinas.html Acessado em 20/01/2016 às 14:46h

[9] Duarte, R. B. Fissuras em alvenarias: causas principais, medidas preventivas e técnicas de recuperação. Porto Alegre: CIENTEC, 1998. (Boletim Técnico, 25)

[10] Thomaz, E. Trincas em edifícios: causas, prevenção e recuperação. São Paulo: Pini, 1989.

[11] Building Research Establichment. Estimation of thermal and mosture moviments and stresses. Garston, 1979. (Digest 227, part 1).

[12] Campante, E. F. Sabbatini, F. H. Durabilidade de revestimentos cerâmicos de fachada. In Congresso Iberoamericano de Patologia de las Construcciones, V, Conpart, Montevideo, 1999. Anais... Montevideo. p- 183-191.

Anais do Congresso Brasileiro de Patologia das Construções
CBPAT2016

Abril de 2016
ISSN 2448-1459

MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM ESTRUTURA DE CONCRETO EM AMBIENTE MARINHO

C. S. REIS
Estudante Edificações
IFBA
Bahia; Brasil
carolinesreiss@gmail.com

D. M. de J. CARDOSO
Estudante Edificações
IFBA
Bahia; Brasil
dannymaira@hotmail.com

V. S. CAVALCANTE
Estudante Edificações
IFBA
Bahia; Brasil
viviane_sc@outlook.com

A. S. FORTES
Professor, D.Sc. Edificações
IFBA
Bahia; Brasil
fortesas@terra.com.br

RESUMO

A garantia da durabilidade das estruturas de concreto armado localizadas em ambiente marinho está diretamente relacionada aos cuidados que devem ser seguidos durante as fases de projeto e execução das mesmas. Os critérios a serem adotados nessas fases em regiões consideradas de alta agressividade, caso do ambiente marinho, são significativamente diferentes dos cuidados em construções inseridas em ambientes de agressividade moderada ou fraca. A norma brasileira, NBR6118:2014, recomenda algumas condutas a serem seguidas visando à durabilidade das estruturas, especialmente no que se refere ao cobrimento da armadura e classe de concreto. No entanto, observou-se durante a realização do presente trabalho que edificações nessas condições de agressividade têm sido submetidas à recuperação estrutural com cerca de cinco anos após a execução. Neste artigo procura-se identificar e analisar as manifestações mais recorrentes nas estruturas de concreto localizadas em ambientes marinhos, buscando as respostas para estarem sendo submetidas a intervenções de recuperação estrutural de forma prematura. O trabalho foi desenvolvido por meio de vistorias em diversas construções em ambiente marinho e os resultados demonstram a necessidade de implantação de critérios diferenciados e rigorosos para garantir a durabilidade das mesmas na fase de projeto e execução.
Palavras-chave: Manifestações patológicas, ambiente marinho, patologias.

ABSTRACT

The guarantee of durability of reinforced concrete structures located in marine environment is directly related to the care that must be followed during the design phase and implemented. The criteria to be adopted in these phases in areas considered highly aggressive, if the marine environment, are significantly different from those in care placed in buildings of moderate or weak aggressive environments. The Brazilian standard, NBR6118, recommends some measures to be followed for the durability of the structures. However, it was observed during the course of this work in these buildings aggressive conditions have been subjected to structural recovery with about five years executed. This article seeks to identify and analyze the most frequent manifestations in concrete structures located in marine environments, seeking answers to are being subjected to structural recovery interventions prematurely. The study was conducted through surveys in several buildings in the marine environment and the results demonstrate the need for implanting differentiated and rigorous criteria to ensure the durability of the same in the design phase and execution.
Keywords: Pathological manifestations, marine environment, pathologies.

Abril de 2016
ISSN 2448-1459

1. INTRODUÇÃO

O concreto é o grande responsável por conferir resistência e durabilidade às estruturas de concreto armado, [1]. Ainda segundo o autor, a resistência e a durabilidade de uma estrutura dependem indiscutivelmente da qualidade do concreto empregado em sua construção e dos cuidados durante as fases de projeto e planejamento, assim como, os procedimentos de manutenção que serão adotados durante a vida útil da estrutura.

O desenvolvimento da área de patologias das construções possibilitou um melhor entendimento sobre a importância das fases de projeto e execução das edificações e a identificação dos principais elementos causadores de irregularidades construtivas. Existe um consenso na literatura indicando que as origens das manifestações patológicas estão relacionadas às fases de execução, projeto, materiais e utilização e manutenção. Diversos trabalhos têm sido desenvolvidos com o intuito de avaliar a origem das manifestações patológicas, os mais recentes apontam que os erros ocorrem nas fases de projeto e execução praticamente com a mesma intensidade.

Segundo a norma brasileira [2] a agressividade do meio relaciona-se diretamente com ações físicas e químicas sobre as estruturas de concreto. A norma reconhece ainda o ambiente marinho como um meio com forte agressividade às estruturas de concreto.

A água do mar é o principal agente agressor ao concreto no ambiente marinho [3]. A ação do meio marinho com o microclima no qual a região da estrutura se encontra, pode, cada um dos microclimas característicos do ambiente atuar de forma específica, com reações características [4]. Para os autores, os agentes agressivos presentes no ambiente marinho provocam tanto a corrosão das armaduras quanto a corrosão do concreto (matriz de cimento). Isso, principalmente, em função de sua grande quantidade de elementos químicos, como cloretos (cerca de 55,29%), sódio (30,74%), sulfatos (7,75%), entre outros.

A agressividade de ambientes marinhos em estruturas de concreto pode ser dividida a partir de dois aspectos distintos: um relativo à corrosão do concreto pela ação de sais agressivos enquanto o outro diz respeito ao processo de degradação da armadura devido à presença de íons cloretos e umidade do ambiente [4]. Entretanto, ainda conforme os autores, não são os componentes da água do mar os únicos responsáveis pelo surgimento de manifestações patológicas no concreto. De acordo com as zonas (Figura 1) agentes de diferentes naturezas atuarão na degradação da estrutura.

Abril de 2016
ISSN 2448-1459



Figura 1 – Zona de ação do ambiente marinho
Fonte: LIMA G, Maryangela, MAZER, Wellington, BRITO C, Priscila et al. (2006) - Durabilidade de estruturas de concreto em ambiente marinho – importância dos estudos envolvendo microclima.

1.1 - Zona Submersa

Os principais organismos agressores às estruturas submersas são de caráter biológico. Os organismos crustradores possuem relação tanto direta quanto indireta na geração de danos [5]. Direta, pois para os autores sua fixação na peça de concreto gera certo desgaste na estrutura, e indireta, pois esses organismos atuam na produção de resíduos metabólicos, enzimas ou ácidos.

Já os organismos incrustadores, como moluscos, algas, entre outros, também possuem efeito ambíguo sobre a estrutura. Atuam de forma negativa pois provocam desgaste superficial ou aumento de peso das estruturas [5]; positivamente por funcionarem como anteparo para as ondas, reduzindo assim ação direta destas. As algas, ainda possuem a potencialidade de formador compostos sulfurosos, ácido carbônico e dióxido de carbono, ainda que também possam proteger a estrutura ao selar suas superfícies, acarretando em uma consequente manutenção de sua durabilidade [4].

1.2 - Zona de variação de marés

A movimentação da água, ocasionada pela variação das correntes e consequentemente volume de ondas e da maré, como efeito direto na degradação das estruturas de concreto [5]. Isso porque, os autores apontam a variação da concentração dos compostos químicos e na composição do material carreado em suspensão, os quais poderão ter ação direta na erosão ou ataque químico às estruturas.

1.3 - Zona de respingos

A corrosão das armaduras em ambiente marinho se dá basicamente pela ação do íon Cloreto. A penetração desses íons se dá principalmente através de mecanismos de difusão que dependem da presença de água. No entanto, em concretos permanentemente saturados não se tem o desenvolvimento da corrosão (não em velocidades significativas), pois também se faz necessária à presença de oxigênio dissolvido na solução presente nos poros para que a correção aconteça. Os íons sulfatos são capazes de atacar os metais imersos no concreto, no entanto esse ataque demora muito a acontecer uma vez que o sulfato tem que principalmente atacar a matriz de concreto para poder atingir as armaduras.

Abril de 2016
ISSN 2448-1459

1.4 - Zona de atmosfera marinha

Carrega também grande importância no processo de degradação do concreto, o vento, pois atua no transporte de íons, e já na forma de partículas sólidas e/ou através de gotas de solução salina nos ciclos de molhagem/secagem e de forma indireta na formação de ondas correntes. Além de agente de transporte de aerossol marinho, o vento age como catalisador nos ciclos de molhagem e secagem das estruturas favorecendo a precipitação e formação de sais.

Como exemplo de estrutura de concreto instalada permanentemente em ambientes marinhos tem-se o píer. Os píeres são estruturas feitas em parte sobre as águas do mar e em parte sobre terra, sob o efeito dos respingos da maré. Essas estruturas precisam ser construídas em função do seu ambiente, considerando a elevada agressividade do meio, para que possam ter capacidade de resistir às influências do meio e manter a vida útil prevista em projeto. Essa durabilidade, prevista em projeto, depende fundamentalmente da qualidade do concreto de cobrimento sobre as armaduras, responsável pela sua proteção química e física.

Aspectos como a escolha do cimento, são muitos mais sensíveis em estruturas dessa natureza do que em obras convencionais. Ressalta-se, por exemplo, como uma medida possível para a redução da degradação da estrutura em ambientes marinhos, a utilização de um cimento com teor baixo de C_3A de forma a retardar a degradação por sulfatos. Outro aspecto de fundamental importância, quando se trata de uma construção em ambiente marinho, ou qualquer outra em ambiente notoriamente agressivo, é a garantia de um cobrimento mínimo, sendo sua uniformidade tão importante quanto o fato de se ter esse cobrimento garantido. A durabilidade de uma estrutura em ambiente agressivo, como é o caso do meio marinho é ainda mais sensível aos parâmetros adotados em projeto e à sua perfeita execução do em obras convencionais, em ambientes de agressividade moderada ou baixa, como veremos durante o presente trabalho.

2. ESTUDOS DE CASOS

O presente trabalho está baseado na vistoria de seis píeres, localizados na região metropolitana de Salvador-BA, designados neste trabalho como píer A, B, C, D, E e F. Quatro ficam no bairro da Vitória, na entrada da Baia de Todos os Santos, e dois no porto de aratu, já na parte interna da Baia, conforme ilustra a Figura 2. Foram realizadas diversas vistorias em cada pier, recorrendo a ensaios de resistência à compressão do concreto, esclerometria, ensaios de carbonatação utilizando-se fenolftaleína, auscultação, exames visuais, medições etc. As vistorias ocorreram sempre com a maré-baixa para que se pudesse ter acesso a maior parte dos elementos estruturais. A coleta de dados foi feita por meio de registros fotográficos, audiovisuais e elaboração de croquis feitos no local.



Figura 2 - Baia de Todos os Santos – posição das estruturas em estudo (fonte: Google maps).

As manifestações patológicas encontradas durante a vistoria das estruturas dos píeres estão apresentadas a seguir.

2.1 – - Lixiviação

A lixiviação do concreto é precursora de outras manifestações patológicas de maior gravidade, como a corrosão das armaduras e a carbonatação. A lixiviação é a remoção dos elementos constituintes do concreto, remoção da pasta endurecida e dos agregados miúdos, expondo os agregados graúdos. Implica no que acontece com o concreto na presente de percolação da água sobre o elemento estrutural, carreando consigo componentes importantes, como é o caso do hidróxido de cálcio ($Ca(OH)_2$), importante para manter o pH do concreto alto o suficiente para proteger as armaduras. Quando esse fenômeno acontece o concreto aumenta os vazios, reduz a resistência e o pH diminui despassivando a armadura, ou seja, o concreto expõe a armadura deixando-a ativa para reações com agentes externos que tem sua entrada ou conto favorecido pela porosidade maximizada pela lixiviação [6].



Figura 3 – Lixiviação do concreto no Píer A (esquerda) e no Píer D (direita).

2.2. Corrosão da armadura

A corrosão das armaduras das estruturas de concreto presentes em ambientes marinhos se dá pela ação dos íons cloreto - componente da água do mar.

Este fenômeno ocorre por pites, um tipo desta patologia que se manifesta em pequenos e distintos pontos de corrosão na superfície da armadura em questão. Em casos avançados de corrosão ocorre a ruptura da armadura.

Os componentes essenciais para que ocorra corrosão, são os seguintes [7]:

- Eletrólito que irá conduzir os íons, gerando uma corrente de natureza iônica e, também, para dissolver o oxigênio. O eletrólito, no concreto é constituído, basicamente, por íons em solução, pois salvo raras exceções (altas temperaturas) haverá água presente nos seus poros.
- Diferença de potencial: entre dois pontos quaisquer da armadura, seja pela diferença de umidade, aeração, concentração salina, tensão no concreto ou aço, impurezas no metal, heterogeneidades inerentes ao concreto, pela carbonatação ou pela presença de íons. Formam-se assim duas regiões distintas, ou seja, uma região catódica e outra anódica. Qualquer diferença de potencial entre as zonas anódicas e catódicas acarretam o surgimento de corrente elétrica. Dependendo da magnitude dessa corrente e do acesso de oxigênio, poderá ou não ocorrer corrosão,
- Oxigênio, que regulará todas as reações de corrosão, dissolvido na água presente nos poros do concreto.

Como anteriormente mencionado, para que tal reação ocorra é necessária a presença de oxigênio e água, o que explica a quase inexistência do fenômeno corrosão das armaduras em concretos constantemente submersos.
No caso do concreto armado, o ânodo e o cátodo são formados nas barras de aço, as quais formam a ligação metálica entre ambos, e o eletrólito meio aquoso presente nos poros do concreto [8].

O concreto, em condições normais, fornece às armaduras um alto grau de proteção contra corrosão [9]. Devido ao pH do extrato aquoso presente nos poros do concreto ocorre a passivação do metal por meio da formação de uma película protetora, insolúvel, chamada de camada de passivação. O pH da água contida no interior do concreto gira em torno de 12,5 a 13, 5 dependendo das adições utilizadas, condição suficiente para conduzir o metal a
uma situação de equilíbrio, protetora. Esta condição protege a armadura tanto quimicamente (devido ao pH) e fisicamente isolando a armadura do meio externo, devido à presença da camada de cobrimento.

Ao entrar em contato com a superfície da estrutura, os íons cloretos penetram e ocorre a despassivação da armadura do concreto, reduzindo a estabilidade da camada passivadora e, em presença dos fatores relacionados anteriormente, inician-se o processo de corrosão.



Figura 4 – Corrosão da armadura do Píer A (canto superior esquerdo), B (canto superior direito), C (canto inferior esquerdo) e D (canto inferior direito).

2.3. Carbonatação

Carbonatação é um fenômeno físico-químico onde, a partir da reação de gases ácidos, presentes no ambiente, caso do gás carbônico (CO_2) com os produtos alcalinos do concreto, provenientes da reação de hidratação do cimento, ocorrendo a formação de produtos com pH de precipitação inferior a 9 [10].

A formação e a estabilidade da película passivadora na superfície do aço é dependente do nível do pH na solução que circunda o aço. Com a penetração das moléculas de dióxido de carbono no concreto, ocorrem reações que fazem decrescer a alcalinidade na solução dos poros, conduzindo o pH para níveis próximos de 8 [11].



Figura 5- Carbonatação do concreto no Píer A (esquerda) e Píer D (direita).

2.4. Fungos

Os fungos, como qualquer outro organismo, precisam como ingrediente vital a incidência de água. Eles sobrevivem a um ambiente mais drásticos que as bactérias, variando o pH de 4,5 a 13,0 e ao se instalarem, inicialmente formam um micélio, uma espécie de manto de sustentação feito por agrupamento de hifas dos fungos. A partir delas o organismo irá penetrar nos poros do substrato e nas fissuras, retirando os nutrientes para a manutenção da vida, desencadeando fissuras e diminuindo a resistência superficial do concreto [12].



Figura 6 – Presença de fungos na superfície do concreto do Píer A.

A Tabela 1, mostra o efeito de micro-organismos em diversos materiais de construção:

Ação	Efeito	Material	Micro-organismo
Presença Física	Descoloração e retenção de água	Todos	Todos
Presença Física	Multiplicação de organismos heterotróficos	Qualquer superfície limpa	Algas e bactérias fotossintetizantes
Excreção de enzimas hidrolíticas	Quebra de componentes e degradação de aditivos de cadeia curta	Madeiras, polímeros, superfícies pintadas, concretos e argamassas	Fungos, bactérias e fungos filamentosos
Crescimento de filamentos	Desagregação do material	Rochas, concreto, argamassa e madeiras	Fungos, actinomicetos, algas e cianobactérias
Produção de ácido	Corrosão	Rochas, concretos, argamassas	Fungos e bactérias
Remoção de íons	Perda de resistência e dissolução	Rochas, concretos, argamassas	Todos
Sequestro (quelação) de constituintes iônicos	Perda de resistência e dissolução	Rochas, concretos, argamassas	Produtores de ácidos orgânicos como fungos.
Remoção de H+ pelas células	Corrosão alcalina	Rochas	Algas e cianobactérias
Liberação de polióis (glicerol e polissacarídeos)	Disruptura de silicatos laminares	Rochas silicosas	Todos

(Fonte: Gaylarde, 2003)

Tabela 1- Efeito de micro-organismos em diversos materiais de construção.
Fonte: Revista Téchne: Edição 157,p. 52-57

Abril de 2016
ISSN 2448-1459

2.5. Incrustamento de algas e crustáceos

Ao se fixarem com peças de concreto armado, as algas e crustáceos desempenham papel ambíguo em relação à durabilidade dessas estruturas. Tem-se como ação benevolente a criação de uma espécie de camada protetora em volta das peças, diminuindo a velocidade de incidência de fenômenos físicos como ondas e a invasão de organismos biológicos ao interior das mesmas. Em contrapartida, há a produção de matéria orgânica, compostos sulfurosos, dióxido de carbono, resíduos metabólicos, enzimas e ácidos, causando em primeira instância o aumento do peso e desgaste das estruturas.



Figura 7 – crustáceos nos elementos estruturais do Píer A, B e C, respectivamente.

2.6 – Fissura

As fissuras apresentam-se como um importante indicador sintomatológico na avaliação das condições estruturais de determinada construção. Isso porque, em geral, indicam alguma anomalia comprometedora a impermeabilidade, integridade, segurança, resistência, e durabilidade da edificação [13].

Suas causas podem estar relacionadas a diversos fatores, que normalmente estão atuando ao mesmo tempo [14]. A posição, forma, abertura, profundidade e análise das faces são importantes elementos para a determinação de suas causas. Os principais mecanismos de formação das fissuras são [14]:

- ✓ Variação térmica;
- ✓ Variações no teor de umidade dos materiais;
- ✓ Atuação de sobrecargas;
- ✓ Deformação excessiva das estruturas de concreto armado;
- ✓ Recalques diferenciais das fundações.

A norma brasileira caracteriza como anomalia as fissuras cuja abertura é de valor superior a 0,4 mm. Como simples ocorrência nas estruturas são consideradas as de abertura igual ou inferior a 0,4 mm. Não há dúvida, entretanto, que independentemente do tamanho uma fissura aberta é um caminho fácil para penetração de agentes agressivos [15].

Abril de 2016
ISSN 2448-1459



Figura 8 – Fissuras nos elementos estruturais do Píer A (canto superior esquerdo), B (canto superior direito), C (canto inferior esquerdo) e D (canto inferior direito).

As manifestações patológicas encontradas nas estruturas em estudo estão apresentadas na Tabela 2.

	Manifestações patológicas	Corrosão de armadura	Lixiviação do concreto	Incrustamento de limo e crustáceos	Carbonatação	Fissuras	Fungos
1	Píer A	X	X	X	X	X	X
2	Píer B	X		X		X	
3	Píer C	X		X		X	
4	Píer D	X			X	X	
5	Píer E	X		X	X	X	
6	Píer F	X			X	X	

Tabela 2- Manifestações patológicas observadas em cada píer.

O gráfico apresentado na Figura 9 também mostra os mesmos dados em percentuais relacionados ao total de estruturas em estudo.

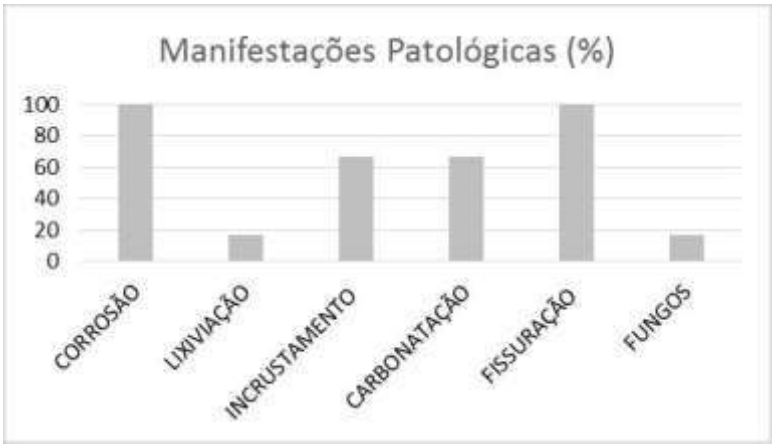

Figura 9 – Manifestações patológicas encontradas nas estruturas.

Vale salientar que apesar da variação de idade das estruturas em estudo, de dez a vinte e cinco anos, o problema de deterioração foi observado pelos proprietários com cerca de cinco anos após a construção. Todos já haviam tido algum tipo de recuperação estrutural. Dessa forma, o custo da recuperação estrutural justifica a adoção de medidas preventivas, que elevam o custo da construção, mas aumentam substancialmente a durabilidade da estrutura.

3. REGIMENTO NORMATIVO E ASPECTOS DE PROJETO

Muitos fatores, do próprio local, interferem na durabilidade e vida útil de projeto (VUP). A primeira é definida, como sendo a "capacidade de a estrutura resistir às influencias ambientais previstas e definidas em conjunto pelo autor do projeto estrutural e o contratante" [2]; a segunda é denotada como "sendo a durabilidade prevista para um dado produto inferida a partir de dados históricos de desempenho do produto ou de ensaios de envelhecimento acelerado", prevendo para estruturas um VUP mínimo de 50 anos [16]. Todas as estruturas apresentadas neste trabalho não alcançam esse requisito, recorrendo-se aos procedimentos de recuperação estrutural com uma idade muito inferior ao normativo para a estrutura se deteriorar e envelhecer.

Todavia, desde a primeira norma brasileira (1931), a qual equaliza diretrizes para a garantia de durabilidade, se é utilizado o método de "experiências anteriores", isto é, "dados históricos de desempenho do produto", para inferir a vida útil no projeto, considerado uma metodologia ultrapassada e obsoleta, por se referenciar a conceitos praticados há mais de cem anos, não consegue sustentar alguns casos. Enquanto outros países se utilizam métodos mais confiáveis como: ensaios acelerados; enfoque determinista; enfoque probabilista [17].

É importante que as normas brasileiras sugiram métodos mais eficazes para o monitoramento das estruturas e garantia da sua vida útil de projeto.

Os poucos elementos de projeto que foram encontrados, das seis estruturas vistoriadas, observaram-se que não existiram preocupações com a elevada agressividade do meio. Alguns procedimentos a serem informados nos projetos são de extrema importância para a durabilidade da estrutura em ambiente marinho, conforme se segue:

- Informar o tipo de cimento a ser empregado e seu consumo por metro cúbico;
- Relação água-aglomerante máxima a ser empregada na dosagem do concreto;

Abril de 2016
ISSN 2448-1459

- Tipos de adições (sílica ativa, SBR etc);
- Utilização de fibras;
- Plano de concretagem;
- Tipo de cura a ser adotada;
- Utilização de proteção catódica, geralmente com ânodo de sacrifício;
- Garantia de cobrimento uniforme com mais de 40mm de espessura;
- Rigoroso controle de qualidade dos materiais, com ensaios de resistência à compressão e tração do concreto e ensaios para obtenção do módulo de elasticidade do concreto;
- Avaliar a possibilidade de utilização de aço CA25, devido a sua menor possibilidade de corrosão;
- Pinturas de proteção superficial do concreto, com a idade de sua manutenção;
- Emprego de elementos para monitoramento da estrutura, tanto de esforços como de durabilidade e plano de manutenção de forma clara e concisa.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Conforme foi apresentado considera-se fundamental ressaltar que as estruturas em ambiente marinho precisam de cuidados adicionais nas fases de projeto e execução devido à elevada agressividade do meio, evitando-se que a degradação da estrutura ocorra em sua primeira década, como foi o caso das estruturas apresentadas neste trabalho. Os cuidados devem partir desde a dosagem do concreto, assim como no desenvolvimento do controle da qualidade dos materiais. Os projetos devem ser melhorados, apresentando detalhes construtivos que facilitem a sua execução, apresentando também de forma clara os elementos necessários para garantia da durabilidade da estrutura, como utilização de fibras, aditivos e adições, espessura da camada de cobrimento, forma de aplicação do concreto, emprego de anodo de sacrifício, utilização de pinturas de proteção, plano de manutenção, entre outros aspectos. A execução das estruturas em ambiente marinho deve seguir critérios rigorosos de controle dos procedimentos construtivos para evitar a deterioração prematura da estrutura.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Centro Federal de Educação Ciência e Tecnologia da Bahia – IFBA em especial ao seu Departamento de Construção Civil, por possibilitar a produção deste trabalho. Também agradecem à Comissão Organizadora do CBPAT2016 pela oportunidade de apresentação do presente trabalho.

6. REFERÊNCIAS

[1] CÁNOVAS, Manuel Fernández. Patologia e Terapia do Concreto Armado. São Paulo. 1998.
[2] ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6118: projetos de estruturas de concreto: procedimentos. ABNT. Rio de Janeiro, 2015.
[3] MEHTA, P. K. ; MONTEIRO, P. J. M. Concreto: estrutura, propriedades e materiais. São Paulo, Pini, 1994.
[4] G. DE LIMA, Maryangela. MORELLI, Fabiano. Caracterização da agressividade do ambiente marinho às estruturas de concreto. São José dos Campos. São Paulo, 2004.
[5] LIMA G, Maryangela, MAZER, Wellington, BRITO C, Priscila et al. Durabilidade de estruturas de concreto em ambiente marinho – importância dos estudos envolvendo microclima. São Paulo. 2006.

[6] REIS, Lília Silveira Nogueira. Sobre a Recuperação e Reforço de Estruturas de Concreto Armado. Belo Horizonte, 2001.
[7] HELENE, P. Corrosão de armaduras no concreto. São Paulo, PINI, 1986. 47p.
[8] CYTED – Programa Iberoamericano de Ciência e Tecnologia para o Desenvolvimento. Rede Temática XV. Durabilidade da Armadura – DURAR, 1997
[9] LIMA, M.G. Capitulo 24 – Ação do Meio Ambiente sobre as Estruturas de Concreto. 2006 Livro:
[10] CONCRETO – Ensaio, pesquisa e Realizações – volume 1.
[11] KULAKOWSKI, Marlova Piva. Contribuição ao estudo da carbonatação em concretos e argamassas compostos com adição de sílica ativa. Porto Alegre, 2002.
[12] BENTUR, A.; DIAMOND S.; BERKE N. S. Corrosion of Steel in Concrete - Understanding, investigation and repair. J. P. Broomfield. Londres: E & FN Spon, 1997.
[13] KIEL, Greyce. Diversidadade Bacteriana em Biofilmes de Superfícies Externas de Prédios Históricos na Cidade de Porto Alegre. Porto Alegre, 2005.
[14] AMBROSIO, Thiago da Silva. Patologia, tratamento e reforço de estruturas de concreto no metrô de São Paulo. São Paulo, 2004.
[15] FORTES, A. S. Vigas de Concreto Armado Reforçadas com Fibras de Carbono. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC. Florianópolis, 2000.
[16] FILHO, Antonio Carmona, CARMONA, Thomas Garcia. Fissuração nas estruturas de concreto. 2012.
[17] ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15575-1: Edificações Habitacionais — Desempenho. Parte 1: Requisitos gerais. ABNT. Rio de Janeiro, 2013.
[18] HELENE, Paulo. ANDRADE, Jairo José de Oliveira. MEDEIROS, Marcelo Henrique Farias de. Capítulo 22
[19] Durabilidade e Vida Útil das Estruturas de Concreto. Concreto: Ciência e Tecnologia. Geraldo Cechella Isaia (Editor). 2011 IBRACON. Todos direitos reservados.