Anais do Congresso Brasileiro de Patologia das Construções
CBPAT2016

Abril de 2016
ISSN 2448-1459

INSPEÇÕES PREVENTIVAS E ESTATÍSTICA DE FISSURAÇÃO DE ELEMENTOS DE FUNDAÇÃO DE EDIFÍCIOS DA REGIÃO METROPOLITANA DE RECIFE (RMR)

LUIZ.BERNHOEFT
Professor
IPOG
Pernambuco; Brasil
luizfernando@petrusengenharia.com.br

MARCO.TRALDI
Analista de Controle Externo
Tribunal de Contas do Estado de Goiás
Goiás; Brasil
mabtraldi@gmail.com

RESUMO

É indiscutível a relevância das práticas de manutenção voltadas às construções da Engenharia Civil. Descata-se a manutenção preventiva, que tem por fundamentos prolongar a vida útil das estruturas e garantir a segurança dos usuários através de intervenções racionais, visando a economia de recursos (lei de Sitter). Em algumas regiões do Brasil o histórico de problemas (manifestações patológicas) e a ocorrência de sinistros (ruína completa de edifícios) têm levado o Poder Público a se mobilizar por meio da cobrança de rotinas mínimas de manutenção das contruções. Este é o caso da RMR, sujeita a lei que determina a inspeção preventiva periódica dos elementos de fundação de edificações. Em outras regiões do país não se tem percebido, no que tange às fundações, cultura similar, seja pela falta de conhecimento técnico envolvendo inspeções desta natureza, ou pelo aparente sucesso relacionado à durabilidade de tais elementos. Essa ausência de preocupação pode ser grave, principalmente em ambientes agressivos como a beira-mar. Este artigo pretende demonstrar, alertando a comunidade técnica nacional, que edificações com superestrutura normal, ou seja, sem qualquer indício de manifestações patológicas, podem estar assentes em fundações com vida útil extremamente prejudicada. Para tal, apresentam-se dados de inspeções preventivas nos elementos de fundação de 85 edifícios de concreto armado, locados na RMR, cujas superestruturas apresentavam-se "saudáveis", mas, conforme se observou, com infraestrutura extremamente prejudicada pela ocorrência de graves problemas de fissuração decorrentes de reações expansivas (como ataque por sulfatos, reação álcali-agregado e formação tardia de etringita).
Palavras-chave: manutenção preventiva, manifestações patológicas em fundações e reações expansivas.

ABSTRACT

The relevance of maintenance practices related to the construction of civil engineering is indisputable. It is noted preventive maintenance, whose principle extend the life of structures and ensure the safety of users through rational interventions to the resource economy (Sitter law). In some regions of Brazil historical problems (apparent pathological manifestations) and the occurrence of accidents (complete ruin of buildings) have led the Government to mobilize by charging minimal routine maintenance of the building stock. This is the case of RMR, subject to law that requires a periodic preventive maintenance of the foundation members. In other regions of the country have not noticed, regarding the foundations, like culture, is the lack of technical knowledge involving inspections of this nature, or by the apparent success related to the durability of such elements. This lack of concern can be severe, particularly in harsh environments such as the seaside. This article argues, prompting the national technical community that buildings with normal superstructure, ie, without any hint of pathological manifestations, may be based on foundations with extremely impaired life. To this end, we present data from preventive inspections of the elements of foundation of 85 buildings of reinforced concrete, placed on RMR, whose superstructure had become "healthy", but, as noted, with infrastructure severely damaged by the occurrence of serious problems cracking due to expansive reactions (such as attack by sulfates, alkali-aggregate reaction and late formation of ettringite).
Keywords: preventive maintenance, pathological in foundations and expansive reactions.

Abril de 2016
ISSN 2448-1459

1. INTRODUÇÃO

O termo Patologia das Estruturas pode ser compreendido como o campo da Engenharia Civil que aborda as origens, formas de manifestação, consequências e mecanismos de ocorrência de falhas e degradação relacionados às estruturas. Problemas patológicos geralmente apresentam manifestações externas características, a partir das quais se pode deduzir a natureza, origem e mecanismos dos fenômenos envolvidos (diagnóstico), assim como as prováveis consequências (prognóstico).

A maior parte dos danos apresentados em elementos estruturais é do tipo evolutivo, ou seja, podem, em um prazo relativamente curto, comprometer sua estabilidade. Neste esteio [1] afirma que a deterioração de uma estrutura poderá estar relacionada às seguintes causas: erros de projeto estrutural; emprego de materiais inadequados; erros de execução; agressividade do meio ambiente.

[2] apontam diversos estudos, normas e documentos, produzidos nos últimos anos, que têm contribuído para introduzir e consolidar novos conceitos em defesa da durabilidade e do aumento da vida útil das estruturas de concreto. Dentre eles podem-se citar: o CEB-FIP Model Code 90 [3]; FIB Model Code 2010 [4]; FIB CEB-FIP Model Code 2006 [5]; ACI 201 [6]; ACI 365 [7]; a norma europeia EN-206 [8]; a ABNT NBR 12655 [9]; artigos de especialistas como [10] e [11]; e documentos clássicos como a norma CETESB L1 007 [12].

Observando a literatura técnica e estudos científicos acerca dos fenômenos patológicos associados às contruções percebe-se que pouca atenção tem sido direcionada, especificamente, aos condicionantes que afetam a durabilidade de componentes das fundações. Tal cenário é preocupante, visto que a ocorrência de manifestações patológicas em tais elementos pode passar desapercebida pelos usuários, pois nem sempre está associada a recalques, ou outros efeitos, que afetem sensivelmente a superestrutura a ponto de alertar para ocorrência de problemas.

Diante da importância do tema, principalmente sob os aspectos social e econômico, este trabalho pretende evidenciar o fato de que edifícios com superestrutura saudável podem estar assentes em fundações com vida útil extremamente prejudicada. Neste sentido, apresentam-se estatísticas dos dados de inspeções preventivas realizadas nos elementos de fundação de 85 edifícios de concreto armado, locados na RMR (Região Metropolitana de Recife), cujas superestruturas apresentavam-se normais, mas, conforme se observou, com infraestrutura extremamente prejudicada pela ocorrência de graves problemas de fissuração associadas a reações expansivas.

2. MANUTENÇÃO PREDIAL

A norma NBR 5674 [13] define a manutenção em edificações como sendo “o conjunto de atividades a serem realizadas para conservar ou recuperar a capacidade funcional da edificação e de suas partes constituintes para atender às necessidades e segurança de seus usuários”. Já a NBR 5462 [14] refere-se à manutenção como uma prática que envolve ações técnicas e administrativas que, juntas, manterão ou devolverão a um item a capacidade de desempenhar determinada função. Nesta esteira, a manutenção de edifícios deve ser encarada como atividade técnica a ser realizada de forma planejada e sistematizada, devendo implicar no mínimo dispêndio de recursos e propiciar a máxima satisfação aos usuários.

No âmbito nacional existem, além da NBR 5674 [13] e NBR 5462 [14], outras normas dedicadas ou que se correlacionam ao tema. Dentre estas, são expoentes: a NBR 14037 [15], que estabelece o conteúdo a ser incluído no Manual de operação, uso e manutenção das edificações, com recomendações para sua elaboração e apresentação; e a NBR 15575 [16], que apresenta os parâmetros mínimos de desempenho a serem obedecidos pelos diversos subsistemas da edificação ao longo de toda sua vida útil, trazendo maior reponsabilidade aos diversos atores envolvidos no setor da construção civil: projetistas, construtores, usuários e mantenedores. Aliado a tais normas, alguns organismos têm contribuído significantemente com esta temática. Como exemplo tem-se o Instituto Brasileiro de Avaliações e Perícias de Engenharia (IBAPE), que publicou normativa fixando as diretrizes, conceitos, terminologia, convenções, notações, critérios e procedimentos relativos à inspeção predial.

Por oportuno é ressaltar que existem diversos tipos e níveis de manutenção. [17] identifica, basicamente, quatro modalidades, quais sejam:

- ✓ **Manutenção Preditiva**: atividade de inspeção que visa o estudo de sistemas e equipamentos a fim de prever possíveis anomalias ou falhas nos mesmos, baseado no seu desempenho e comportamento;
- ✓ **Manutenção Preventiva**: atividade que entra em ação antes que haja a necessidade de reparo;

- ✓ **Manutenção Corretiva**: atividade que visa à reparação ou restauração de falhas ou anomalias, seja ela planejada ou não;
- ✓ **Manutenção Detectiva**: atividade que visa identificar as causas de falhas e anomalias, auxiliando nos planos de manutenção, com o objetivo de atacar a origem do problema, e não apenas o sintoma do mesmo.

3. INSPEÇÕES PERIÓDICAS EM ELEMENTOS DE FUNDAÇÃO

As inspeções em estruturas, bem como as intervenções técnicas de manutenção devem ser feitas com periodicidade a partir de alguns anos de construção [18]. O Brasil é um país que infelizmente não abraçou esta cultura, apesar ser um dos grandes celeiros de obras do planeta. Os prejuízos e consequências destes fatores acabam sendo evidentes. Se não há preservação do capital investido, os custos vão muito além da reconstrução de obras ruídas. A própria sociedade assume grandes riscos, podendo se deparar com tragédias como a ruína do edifício Areia Branca (em 2004, na cidade de Recife) e a queda do muro lateral da Ponte dos Remédios (em 2011, na cidade de São Paulo).

[19] tratam a inspeção periódica como elemento indispensável e inerente à metodologia de manutenção preventiva. Esta deve ser adequada ao tipo de estrutura podendo variar, em termos de procedimentos e requisitos mínimos necessários, de peça para peça dentro de um mesmo sistema estrutural. Nesta linha o Plano de Vistoria elaborado pela [18] recomenda, para edifícios com idade construtiva superior a 10 anos, que seja realizada inspeção dos elementos de fundação independentemente da presença de sintomas na superestrutura. A amostragem indicada é de, no mínimo, 30% das sapatas (ou blocos) e pescoços de pilares. Os autores detalham outras recomendações relacionadas às fundações de concreto:

- ✓ Que as fundações sejam investigadas sempre que houver indicadores, tais como trincas e manifestações típicas de recalques;
- ✓ Que seja obrigatória a inspeção de pilares que tenham tubulações anexadas e juntos às caixas de passagem;
- ✓ Que se verifique as localizações do sistema de fossa, filtro e reservatório inferior e o nível do lençol freático.

4. FENÔMENOS DE DETERIORAÇÃO DO CONCRETO ARMADO

[19] classificam, em intrínsecas e extrínsecas, as causas responsáveis pela implantação dos processos de deterioração e redução da vida útil das estruturas de concreto armado. Causas intrínsecas são as que se originam durante as fases de execução e/ou utilização das obras, por falhas humanas, por questões próprias aos materiais e por ações externas. Dentre essas encontram-se as falhas de construção, de utilização e as causas naturais. As causas extrínsecas são as que independem do corpo estrutural em si, ou seja, são as que atacam a estrutura de "fora para dentro". São elas: as falhas de projeto; as falhas de utilização (relacionadas a sobrecargas e alterações estruturais); as ações mecânicas; as ações físicas; as ações químicas; e as ações biológicas.

Por seu turno a NBR 6118 [20] trata, em seu item 6.3, sobre os mecanismos de envelhecimento e deterioração do concreto armado. Aponta a existência de mecanismos relacionados ao concreto e às armaduras. No primeiro caso enquadram-se fenômenos como: lixiviação, expansão por sufato e reação álcali-agregado (RAA). No segundo descata-se a despassivação, originária da carbonatação ou da ação de cloretos. Na sequencia deste manuscrito são tecidos comentários acerca das manifestações patológicas detectadas nos edifícios vistoriados no escopo desta pesquisa, a saber: reação álcali-agregado, ataque por sulfato e formação de etringita tardia.

4.1 Reação álcali-agregado (RAA)

Denomina-se reação álcali-agregado o processo químico de deterioração do concreto proveniente da reação entre álcalis do cimento e alguns minerais reativos presentes no agregado na presença de umidade. Os fatores relevantes para o desenvolvimento da RAA são descritos por [21]. As principais manifestações patológicas características do fenômeno são a fissuração desorientada (tipo "mapa") e a exsudação de um fluído sílico-viscoso na superfície do concreto. Ademais, a expansão e as decorrentes fissurações geradas podem comprometer diretamente a resistência, elasticidade e durabilidade do concreto afetado.

[22], remetendo ao histórico de ocorrências de RAA na RMR, cita que o primeiro diagnóstico deste fenômeno foi feito nos blocos de coroamento da Ponte Paulo Guerra, em 1999. Em 2004 diagnosticou-se este fenômeno, também, nas fundações de um edifício residencial na praia de Piedade, em Jaboatão dos Guararapes - cidade vizinha a Recife. Quanto a falência do edifício Areia Branca, em 2004, ensaios petrográficos detectaram a presença de RAA nos elementos de fundação, embora esta não tenha sido considerada a causa principal de seu colapso. Laudo emitido por

Abril de 2016
ISSN 2448-1459

equipe multidisciplinar diagnosticou, como causas da ruína, a existências de falhas construtivas nas fundações e a acentuada deterioração ocorrida no curso de vida destes elementos. Após este fato os condomínios prediais da região passaram a solicitar, preventivamente, vistorias especializadas buscando informações sobre as condições estruturais das edificações, as quais passaram a envolver a escavação e análise do estado dos elementos de fundação.

4.2 Ataque por sulfato (e formação de etringita tardia)

Ataque por sulfato remete ao processo de degradação do concreto como resultado de reações químicas entre o cimento Portland hidratado e íons sulfato gerando um produto expansivo, a etringita. Segundo [21] este fenômeno químico pode se manifestar na forma de expansão e fissuração do concreto. Os efeitos físicos deletérios da reação acarretam no aumento de permeabilidade acelerando o processo de deterioração, podendo, inclusive, gerar diminuição progressiva de resistência e perda de massa.

Muitos são os fatores que influenciam o desenvolvimento do ataque por sulfatos. [23] divide-os em: fatores associados à produção do concreto; e fatores relacionados com a origem dos sais, decorrentes do meio. Na primeira categoria influenciam o tipo e constituição do cimento, tipo de agregado, dosagem e cura. Na segunda categoria são relevantes a concentração da solução agressiva, a temperatura da solução e a constância do fluxo. É mister ressaltar que na maioria dos casos os sulfatos provêm do próprio ambiente em que estão inseridas as peças de concreto: íons SO_4^{2-} encontram-se no mar, em águas subterrâneas, poços de mineração, chuvas ácidas, pântanos, água de esgotos, rejeitos industriais e águas de drenagem de solos fertilizados [24].

[21] pontuam sobre a relação entre a composição química do cimento e a vulnerabilidade da pasta (resultante de sua hidratação) ao ataque por sulfato. Na pasta hidratada, o hidróxido de cálcio e as fases que contêm alumina são elementos críticos para o desenvolvimento deste fenômeno. Neste sentido, cimentos com teores de C_3A acima de 5%, quando hidratados, produzirão aluminas nas formas $C_3A.CS.H_{18}$ e $C_3A.CH.H_{18}$ que, na presença de hidróxido de cálcio e íons sulfato, se convertem em etringita ($C_3A.3CS.H_{32}$). Apesar disto Verbeck (1968) *apud* [21] pontuou, através de estudos, que a baixa permeabilidade do concreto, obtida por uma dosagem com alto consumo de cimento, pode ser mais importante na redução dos efeitos de ataque por sulfatos que a composição do cimento.

Outro fenômeno associado ao ataque do concreto por sulfatos é a formação de etringita tardia. Neste caso, a particularidade é que os íons sulfatos não advêm do meio externo, mas dos próprios constituintes do concreto, como: agregados (contaminados com gipsita) e o cimento (com altos teores de sulfato). Por conseguinte, importa mencionar que há uma divergência na literatura técnica quanto às origens deste tipo de manifestação. Para alguns autores o fenômeno estará (sempre) associado a elementos de concreto que passaram pelo processo de cura úmida, em determinadas temperaturas. Neste caso, o vapor quente empregado decomporia a etringita primária e os íons sulfato seriam adsorvidos pelo C-S-H. Em um segundo momento, após a cura da peça, estes íons sofreriam dessorção formando etringita secundária. Em outra linha teórica encontra-se um enfoque holístico, para a formação desta manifestação patológica, que destaca três condições para ocorrência do problema: alta permeabilidade (oriunda de retração térmica ou secagem, cura a vapor por alta temperatura, carregamento severo durante o uso, outros); presença de água; e sulfato tardio liberado por fonte interna [21].

5. METODOLOGIA DO TRABALHO

A metodologia empregada no presente estudo foi a escavação preventiva para visualização das condições dos elementos de fundação de 85 edificações de concreto armado na RMR durante o período de 2008 a 2013. As escavações seguiram rotinas próprias da empresa executora das vistorias. No que tange à amostragem, seguiram-se as recomendações da [18].

A partir das escavações realizadas observou-se a ocorrência diversos tipos de problemas patológicos nos elementos de fundação inspecionados. Desta feita, as fissuras, manifestações patológicas estudadas no presente trabalho, foram classificadas e caracterizadas visualmente em função de suas espessuras, conforme se demonstra na Tabela 1.

Tabela 1 – Nomenclatura e caracterização visual das fissuras encontradas nas diversas fundações vistoriadas

Nomenclatura adotada	Descrição da Manifestação	Caracterização Visual
Fissuras expansivas de grau 1 (**F.EXP - G1**)	Fissuras características de expansão de grau 1	Fissuras desorientadas (forma de mapa) características de reações químicas de expansão como reação álcali agregado, reação a sulfato, formação de etringita tardia, com espessuras de até 1,5 mm
Fissuras expansivas de grau 1 (**F.EXP - G2**)	Fissuras características de expansão de grau 2	Fissuras desorientadas (forma de mapa) características de reações químicas de expansão como reação álcali agregado, reação a sulfato, formação de etringita tardia, com espessuras acima 1,5 mm

6. RESULTADOS E ANÁLISES

As fundações inspecionadas apresentaram como principais formas de manifestações patológicas: fissuras, superfícies de concreto lixiviadas e lascamento superficial do concreto associado à presença de armadura corroída. Seguindo o escopo proposto neste trabalho, ilustram-se, abaixo, através de registro fotográfico, exemplos das manifestações patológicas relacionadas à fissuração dos elementos de fundação, quais sejam: F.EXP - G1 (Figura 1) e F.EXP - G2 (Figura 2).



Figura 1: Fissuras características de expansão de grau 1 – F.EXP - G1



Figura 2: Fissuras características de expansão de grau 2 – F.EXP - G2 (a) e (b)

Demonstra-se, no Gráfico 1, o percentual de cada tipologia de fundação no universo das vistorias realizadas. Observa-se que do total de edificações inspecionadas, 56 possuíam fundação do tipo bloco (sobre estacas), 27 do tipo sapata e apenas 2 do tipo radier. No Gráfico 2 apresenta-se o percentual de edificações em que foi observada a presença de

algum dos graus de fissuração, ressaltando-se o fato de que em aproximadamente 39% dos prédios vistoriados foi registrada a ocorrência de fissuras do tipo F.EXP - G1 ou do tipo F. EXP - G2.

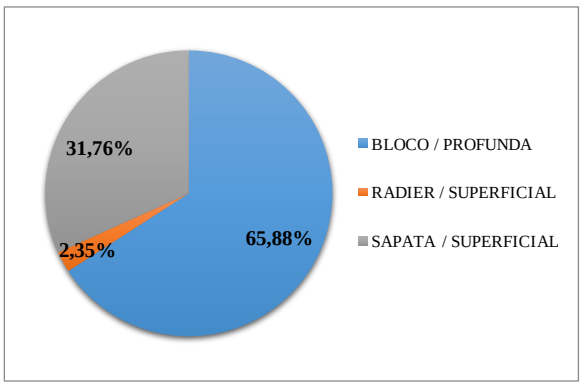

Gráfico 1 – Tipologia das fundações vistoriadas

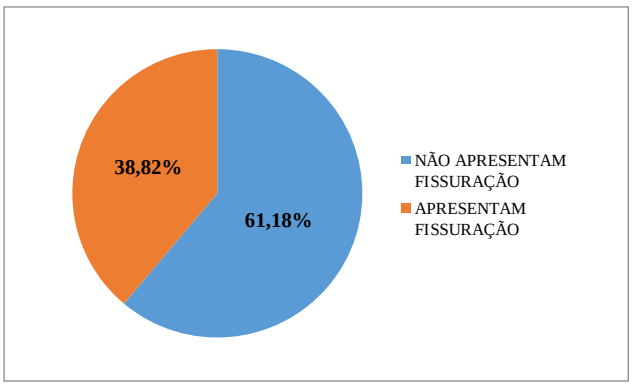

Gráfico 2 – Separação das edificações quanto a ocorrênciao ou não de fissuração nos elementos de fundação

Já no Gráfico 3 apresenta-se a magnitude da ocorrência de fissurações em função da tipologia das fundações observadas. Observa-se que: aproximadamente metade dos edifícios assentes sobre blocos (sobre estacas) apresentou algum tipo de fissuração; nos prédios com fundações em sapata este percentual caiu para cerca de 15%; não houve ocorrência destas manifestações nas edificações assentes sobre radier. O Gráfico 4 demonstra que a maioria das fissurações observadas (54,55%) remete a ocorrências do tipo F.EXP - G2. É mister ressaltar que, para cada edificação vistoriada, fora registrada apenas a ocorrência (grau de fissuração) de maior gravidade (F.EXP - G1 ou F.EXP - G2). O Gráfico 5 expõe os percentuais de edificações com elementos fissurados em função de suas idades construtivas.

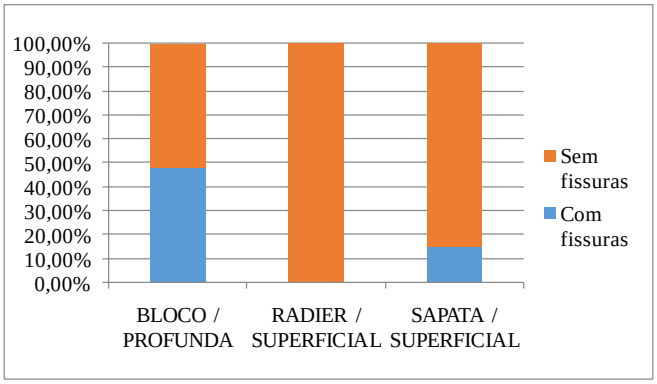

Gráfico 3 – Panorama da ocorrência de fissuração por tipologia de fundação

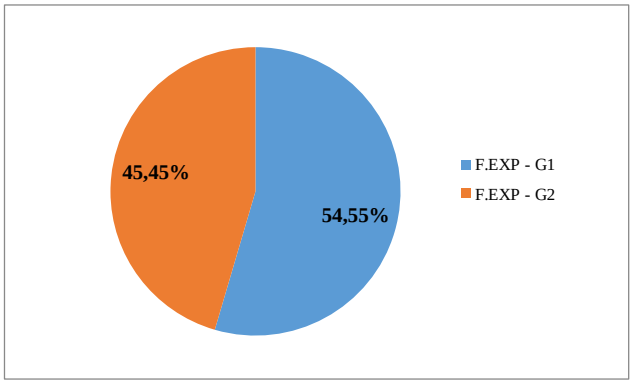

Gráfico 4 – Porcentagem de ocorrência das tipologias de fissuração

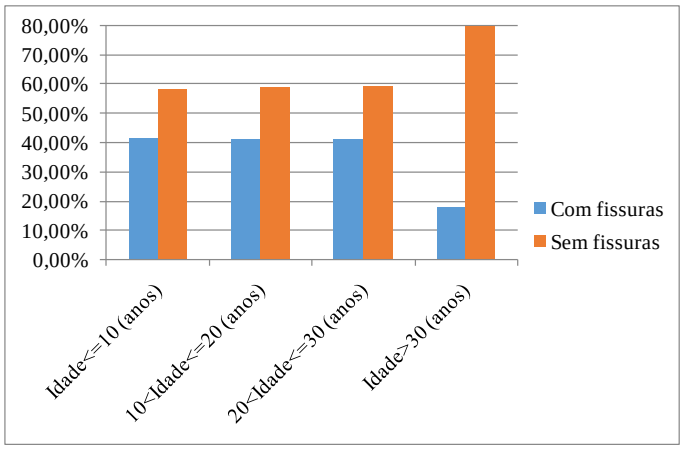

Gráfico 5 – Ocorrências de fissuração (nas fundações) em função da idade construtiva dos edifícios

Por fim, a Tabela 2 esmiuça a ocorrência das fissuras considerando-se duas variáveis: tipo de fundação e idade construtiva. Através desta pode-se inferir que pelo menos 50% das edificações, assentes sobre blocos (de fundação), com até 30 anos de contrução apresentaram problemas de fissuração. Esta porcentagem foi de 30% para os edifícios mais antigos (idade> 30 anos de contrução). Quanto aos edificíos assentes sobre sapatas observa-se que, em média, uma porcentagem maior de edifícios antigos (idade entre 10 e 20 anos) apresentou fissuração em relação aos mais novos (com idade até 10 anos).

Tabela 2 – Panorama das ocorrências de fissuras em função do tipo de fundação e idade dos edifícios

Tipo de fundação	Idade<=10 (anos)	10<Idade<=20 (anos)	20<Idade<=30 (anos)	Idade>30 (anos)
Bloco/profunda	**8**	**22**	**16**	**10**
Com Fissuras	**4** (50,00%)	**11** (50,00%)	**9** (56,25%)	**3** (30,00%)
Sem fissuras	**4** (50,00%)	**11** (50,00%)	**7** (43,75%)	**7** (70,00%)
Radier/superficial	**0**	**1**	**0**	**1**
Sem fissuras	**0**	**1** (100,00%)	**0**	**1** (100,00%)
Sapata/superficial	**4**	**11**	**6**	**6**
Com Fissuras	**1** (25,00%)	**3** (27,27%)	**0** (0,00%)	**0** (0,00%)
Sem fissuras	**3** (75,00%)	**8** (72,73%)	**6** (100,00%)	**6** (100,00%)
Total geral	**12**	**34**	**22**	**17**

7. CONCLUSÕES

Com base na revisão da literatura, nos registros obtidos (por meio das inspeções preventivas realizadas) e nos elevados índices de deterioração das fundações aqui observados, ressalta-se a evidente necessidade de se implantar, no plano de manutenção das edificações, investigações preventivas que considerem ações específicas relativas aos elementos da infraestrutura dos edifícios. Ressalta-se que tal preocupação é bastante relevante em ambientes agressivos (como a beira-mar), com agressividade similar à da RMR.

Quanto aos dados apresentados observa-se, em linhas gerais, que a deterioração das fundações ocorreu independentemente da idade dos edifícios. Contudo, a menor percentagem de ocorrências se deu nos prédios mais antigos (com mais de trinta anos de construção). Edifícios construídos sobre blocos de fundação mostraram-se mais afetados pelas fissurações (48,21% dos edifícios) que os assentes sobre sapatas (14,81%).

Salienta-se que o sintoma patológico do tipo F.EXP - G2 apresentou um elevado índice de ocorrência, representando 54,55% de todas as ocorrências de fissuração (F.EXP - G1 e F. EXP - G2, somados, ocorreram em 38,82% dos edifícios vistoriados). Este dado é preocupante já que mesmo esta patologia, de grande risco à estabilidade estrutural (pressupondo-se que grandes fissuras podem fragilizar as bielas de compressão, reduzindo a resistência estrutural dos elementos, e acelerar os mecanismos de deterioração do concreto e do aço), não provocou recalques ou outros efeitos que fizessem com que a superestrutura predial apontasse indícios do (elevado) grau de deterioração de suas fundações.

Por conseguinte, tendo em vista a relevância do tema - materializada pelos dados apresentados -, defende-se a tese de serem fundamentais as leis que obriguem e façam cumprir a fiscalização de vistorias preventivas nas edificações, uma vez que a relevância destas ações não tem sido proporcional à iniciativa dos usuários. Dessarte, observando-se que nacionalemente inexiste obrigação relacionada à inspeção preventiva de fundações, recomenda-se à comunidade técnica que se realize estudo de viabilidade de criação de normalização coerciva nacional que abarque especificamente manutenções e inspeções preventivas voltadas a estes elementos, estabelecendo critérios mínimos, metodologia de execução e periodicidade (em função, por exemplo, da agressividade ambiental). Ademais, sugere-se que estudos similares sejam realizados em outras regiões do país, visando a criação de banco de dados nacional cercando a temática.

Abril de 2016
ISSN 2448-1459

8. REFERÊNCIAS

[1] BAUER, L. A. F. *Materiais de construção*. v.1, 5. ed. Rio de Janeiro: Editora LTC, 2009. p. 447.

[2] DONIAK, I.L.O. e GUTSTEIN, D. *Capítulo 22: Durabilidade e Vida Útil das Estruturas de Concreto*. In: ISAÍA, G. Concreto: Ciência e Tecnologia - Vol. II Local: São Paulo, Editora: Ibracon, 2011. p. 1569-1613.

[3] COMITE EURO-INTERNATIONAL DU BETON (CEB) e FÉDÉRATION INTERNATIONALE DE LA PRÉCONTRAINTE (FIP). CEB-FIP Model Code 1990. Design Code. Lausanne, 1993.

[4] _____. CEB-FIP Bulletin 53 – Model code for structural concrete: textbook on behaviour, design and performance Volume 3: Design of durable concrete structures. Lausanne, 2010.

[5] _____. CEB-FIP Model Code 2006. Model code for service life design. Lausanne, 2006.

[6] AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. ACI 201.2R Guide to Durable Concrete: reported by ACI Committee 201. 2008.

[7] _____. ACI 365 Service-Life Prediction – State-of-the-Art Report. ACI Committee 365. ACI 365.2R-00, 2000.

[8] EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDZATION (CEN). Betão: Parte 1 – Especificação, desempenho, produção e conformidade. EN 206-1. Portugal, 2007.

[9] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12655: Concreto de cimento Portland. Preparo, controle e recebimento. Procedimento. Rio de Janeiro, 2006.

[10] ANDRADE, C. & GONZALEZ, J. A. "Tendencias Actuales en la Investigación sobre Corrosion de Armaduras". *Revista Informes de la Construcción*, Madrid, v. 40, n. 398, 1988, p. 7-14.

[11] ROSTAM, Steen. "Service Life Design - The European Approach". *USA, Revista Concrete International*, v. 15, n. 7, 1993, p. 24-32.

[12] COMPANHIA de TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (CETESB). Agressividade do Meio ao Concreto. CETESB L1 007. São Paulo, 1995.

[13] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5674: manutenção de edificações – procedimento. Rio de Janeiro, 2012.

[14] _____. NBR 5462: Confiabilidade e mantenabilidade. Rio de Janeiro, 1994.

[15] _____. NBR 14037: Manual de operação, uso e manutenção das edificações – Conteúdo e recomendações para elaboração e apresentação. Rio de Janeiro, 1998.

[16] _____. NBR 15575-1: Edifícios habitacionais de até cinco pavimentos - Desempenho - Parte 1: Requisitos gerais. Rio de Janeiro, 2013.

[17] GOMIDE, T. L. F., PUJADAS, F. Z. A., NETO, J. C. P. F. *Técnicas de inspeção e manutenção predial: vistorias técnicas, check-up predial, normas comentadas, manutenção x valorização patrimonial, análise de risco*. São Paulo: Editora PINI, 2006.

[18] Checklist para vistoria de edificações em concreto armado. ABECE. Disponível em: <http://www.abece.com.br>. Acesso em: 22 março 2016.

[19] SOUZA, V. C. de, RIPPER, T. *Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto*. São Paulo: Editora Pini, 1998. p. 255.

[20] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto armado. Rio de Janeiro, 2014.

[21] MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. *Concreto: microestrutura, propriedades e materiais*. São Paulo: Ibracon, 2008. p. 674.

[22] GOMES, E. A. O. *Recuperação estrutural de blocos de fundação afetados pela reação álcali-agregado - a experiência do Recife*. 2008. 136p. Dissertação de Mestrado – Universidade Católica de Pernambuco, Recife, 2008.

[23] SILVA FILHO, L. C. P. *Durabilidade do concreto à ação de sulfatos: análise do efeito da permeação de água e da adição de microssílica*. 1994. 143p. Dissertação de Mestrado – Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1994.

[24] SILVEIRA, A. A. *A utilização de cinza de casca de arroz com vistas a durabilidade de concretos: estudo do ataque por sulfatos*. 1996. 139 p. Dissertação de Mestrado – Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1996.