

## Arquitetura Planejada Visando a Longevidade de Estruturas de Concreto

*Architectural design for durability of concrete structures.*

Carlos Britez (1); Jéssika Pacheco (2); Mariana Carvalho (3); Paulo Helene (4)

(1) Departamento de Engenharia de Estruturas e Fundações da EPUSP. PhD Engenharia.  
*carlos.britez@concretophd.com.br*

(2) PhD Engenharia. *jessika.pacheco@concretophd.com.br*

(3) Universidade Presbiteriana Mackenzie. *mpcarvalho90@gmail.com*

(4) Prof. Titular da Universidade de São Paulo. PhD Engenharia. *paulo.helene@concretophd.com.br*

### Resumo

Atualmente, a temática sobre durabilidade e vida útil das estruturas de concreto está cada vez mais em evidência. Aspectos relacionados com um material de tecnologia avançada ou uma execução primorosa não são suficientes para evitar manifestações patológicas precoces relacionadas com detalhes arquitetônicos falhos de projeto ou pela ausência de planos de manutenção. Neste contexto, este artigo busca reunir uma série de recomendações baseadas numa arquitetura planejada, com o intuito de prover a longevidade desejada dessas estruturas, atrelada a programas adequados de manutenção preventiva.

*Palavras-Chave: arquitetura planejada; plano de manutenção; estruturas de concreto; vida útil.*

### Abstract

Nowadays, the issue of durability and service life of concrete structures is increasingly evident. Aspects related to an advanced technology material or a meticulous execution is not enough to avoid early pathological manifestations related to erroneous architectural design details or lack of maintenance plans. In this context, this paper seeks to gather a series of recommendations based on a planned architecture, in order to provide the desired longevity of these structures, coupled with adequate preventive maintenance programs.

*Keywords: planned architecture, maintenance plan; concrete structures, service life.*

## 1 Introdução

A água é uma das principais substâncias da natureza, essencial para a vida da maior parte dos organismos vivos e excelente solvente para muitas outras substâncias. É fundamental ao concreto produzido com cimento Portland pelas reações químicas inerentes ao uso de um cimento hidráulico. Ocorre que a água também está envolvida com as principais manifestações patológicas do concreto no estado endurecido e pode ser também um de seus maiores malefícios, pois está presente em todas as reações químicas deletérias associadas com corrosão de armadura, reação álcali-agregado, entre outras.

Sob o prisma dos conceitos de durabilidade e vida útil de estruturas de concreto, é interessante pensar em projetos que envolvam detalhes arquitetônicos que não permitam ou que reduzam o contato da água com a região mais exposta da estrutura (fachadas), a fim de minimizar ou postergar reações deletérias indesejadas, resultando assim em edificações ou obras de arte especiais mais longevas, evidentemente que associados com planos de manutenção preventiva e corretiva pertinentes.

Aspectos relacionados com um material de tecnologia avançada ou de uma execução primorosa não são unicamente suficientes para evitar manifestações patológicas precoces relacionadas com detalhes arquitetônicos falhos de projeto. Neste contexto, este artigo busca reunir uma série de recomendações baseadas numa arquitetura planejada, com o intuito de prover estruturas mais duráveis, independentemente da qualidade do concreto e da espessura de cobertura das armaduras.

## 2 Conceito de vida útil e mecanismos de deterioração de estruturas de concreto

Entende-se que vida útil é o período de tempo durante o qual se mantêm as características das estruturas de concreto, desde que atendidos os requisitos de uso e manutenção prescritos pelo projetista e pelo construtor, bem como de execução de reparos necessários decorrentes de danos acidentais (ABNT, 2014).

HELENE (1997) destaca que as estruturas de concreto devem ser projetadas, construídas e utilizadas de modo que, sob as condições ambientais previstas e respeitadas as condições de manutenção preventiva especificadas no projeto, conservem sua segurança, estabilidade, aptidão em serviço e aparência aceitável, durante um período pré-fixado de tempo, sem exigir medidas extras de manutenção e reparo.

No Brasil, a ABNT NBR 15575-1 (2013) estabelece como vida útil o período de tempo em que um edifício e/ou seus sistemas atendem às atividades para as quais foram projetados e construídos, nos níveis de desempenho previstos, considerando a periodicidade e a correta execução dos processos de manutenção especificados no respectivo manual de uso, operação e manutenção.

A norma citada define ainda a chamada vida útil de projeto, VUP, que corresponde ao período de tempo previsto e justificado em projeto para determinada estrutura ou partes desta. Os períodos de tempo em anos de VUP estabelecidos pela respectiva norma para as estruturas variam de 50 anos a 75 anos, de acordo com a importância e padrão da edificação.

Concomitantemente, o *fib* Model Code (2013) especifica vida útil como sendo o período de tempo durante o qual é atingido o desempenho exigido de uma estrutura ou elemento estrutural, quando este é utilizado para o fim a que se destina e nas condições de utilização previstas.

O Comitê Europeu de Normalização (CEN) prescreve através da EN 1990 (2002) que os períodos de tempo em anos de vida útil devem obedecer aos dados da tabela 1.

Tabela 1. Vida Útil recomendada conforme EN 1990 (2002).

| Período de vida útil (anos) | Exemplos  |
|-----------------------------|---|
| 10                          | Estruturas temporárias                            |
| 10 a 25                     | Partes substituíveis da estrutura                 |
| 15 a 30                     | Estruturas para agricultura ou similares          |
| 50                          | Estrutura de edifícios e outras estruturas comuns |
| 100                         | Estruturas monumentais, pontes, etc.              |

De forma simplificada e prudente, nota-se que toda a conceituação de vida útil está atrelada com mecanismos de envelhecimento e deterioração da estrutura de concreto (Fig. 1) que, segundo a ABNT NBR 6118 (2014), são divididos em: lixiviação, expansão por sulfatos e reação álcali-agregado (relacionados ao concreto); despassivação por carbonatação e pela ação de cloretos (relacionados à armadura); ações mecânicas, movimentações de origem térmica, impactos, ações cíclicas, retração, fluência e relaxação (relacionados com a estrutura propriamente dita).



Figura 1. Exemplos de mecanismos de deterioração: reação álcali-agregado e corrosão por cloretos, respectivamente.

É comum as normas e códigos nacionais e internacionais relacionarem a vida útil das estruturas com a qualidade do concreto a ser aplicado (relação *a/c*, consumo de cimento e resistência mínima à compressão) e a espessura de cobrimento das armaduras, sendo

que estes parâmetros variam de acordo com a classe de agressividade ambiental na qual a estrutura estará inserida. Entretanto, a adoção destas medidas, quando combinada com um plano de manutenção pertinente e disposições arquitetônicas que auxiliem na redução do contato da água com a estrutura, pode conduzir a resultados mais expressivos na garantia da longevidade das edificações que se utilizam deste sistema estrutural.

### 3 Detalhes arquitetônicos prevendo longevidade de estruturas de concreto: exemplos e obras

Diversos autores são unânimes em afirmar que a umidade é prejudicial às estruturas de concreto (FLAUZINO, 1983; HELENE, 1986; PEREZ, 1988; ROMÉRO; THOMAZ, 1990; SIMÕES, 1995; UEMOTO, 2005). Os princípios consagrados de detalhes arquitetônicos, com vistas à durabilidade de estruturas de concreto (geometria dos ressaltos e pingadeiras, Fig. 2), são usados comumente na área de projetos e manuais técnicos de pinturas. Outro campo de aplicação bastante avançado é referente a alvenarias com detalhes que permitem não acumular água principalmente na redondeza de caixilhos com arquitetura planejada dos peitoris e do prolongamento dos beirais de cobertura (cimalhas), conforme se observa na Fig. 3.

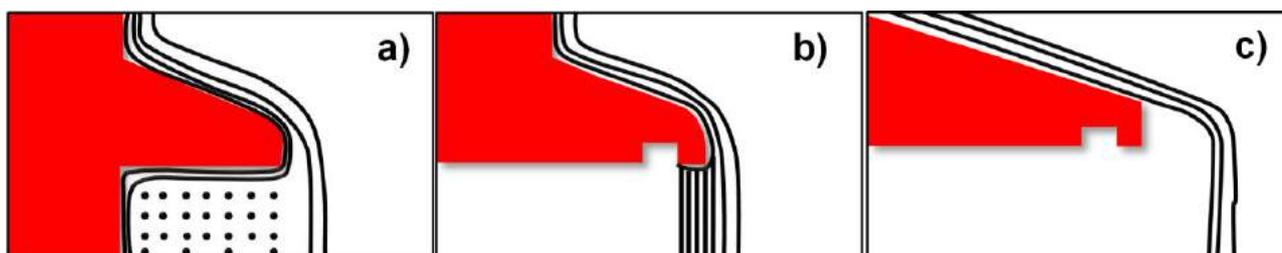


Figura 2. Efeito da geometria dos ressaltos e pingadeiras na expulsão dos fluxos de água em superfícies de estruturas: (a) sem contribuição funcional (b) e (c) expulsam os fluxos de água (adaptado de UEMOTO, 2005).

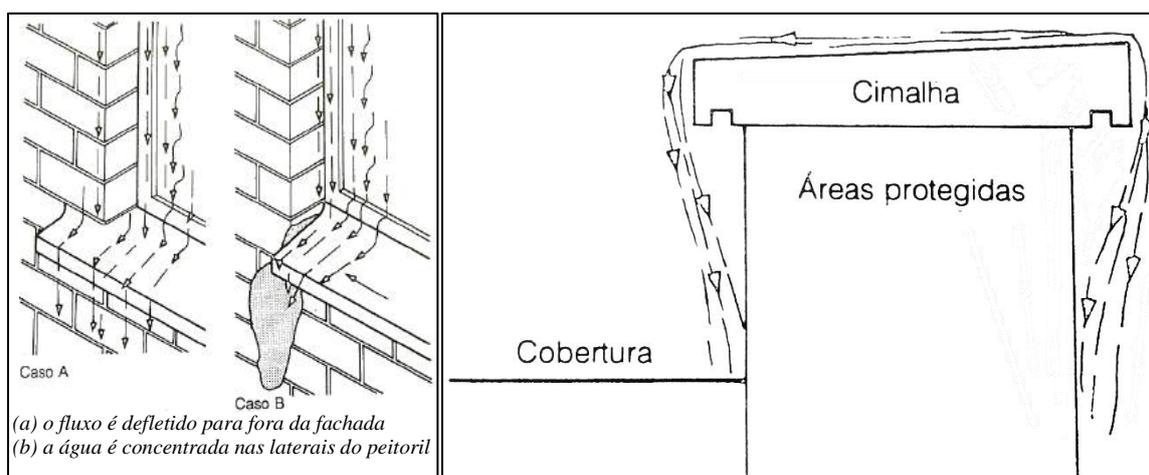


Figura 3. Efeito nos fluxos de água conforme o emprego de detalhes arquitetônicos adequados (THOMAZ, 1990).

No prédio sede da FAAP (Fundação Armando Alvares Penteado) em São Paulo, sito na Rua Alagoas nº 903, no bairro Higienópolis, construído em 1947, é possível observar na prática a aplicação do conceito de detalhe arquitetônico envolvendo um beiral prolongado (Fig. 4), o que de fato pode ter colaborado para a excelente conservação natural da edificação, evidentemente atrelada com outros procedimentos de manutenção preventiva, que está vinculada à lavagem da fachada a cada 3 anos, aproximadamente, e a um programa de inspeção constante da estrutura, no qual ao se identificar uma anomalia ou não conformidade, imediatamente é provido o seu reparo.



Figura 4. Detalhe do beiral prolongado adotado no prédio sede da FAAP, em São Paulo.

Couper (1974) apresenta ainda interessante pesquisa envolvendo simulação de chuva dirigida pelo vento em protótipos de madeira pintada. Foi observado que, conforme os fluxos de água descem sobre a superfície de uma fachada, os mesmos atingem múltiplas projeções de diferentes formas e tamanhos. Em cada projeção, uma proporção do fluxo é deslocada da parede. Um estudo exploratório realizado na *Division of Building Research (CSIRO)*, sobre as características de repulsão de várias formas de projeção mostrou que mesmo pequenas projeções têm a capacidade de repelir até 50% de qualquer fluxo rápido que passa sobre elas.

Em geral, a forma e o tamanho da projeção, juntamente com a velocidade da corrente de água que a atinge, determina a quantidade de fluxo repellido e de que forma, conforme claramente ilustrado na Figura 5, que mostra os padrões de repulsão para seis projeções típicas numa superfície de madeira pintada com um fluxo único constante de 1,5 L/min.

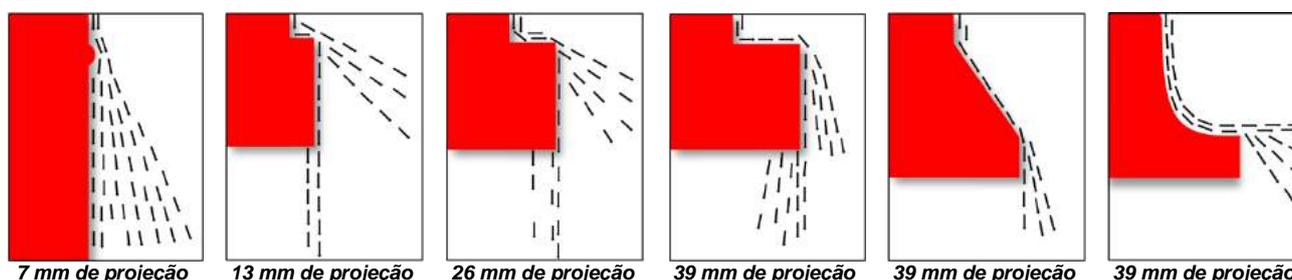


Figura 5. Efeito das projeções nas superfícies de fachadas (COUPER, 1974).

Um exemplo muito significativo sobre a aplicação dos conceitos de projeção em fachadas, implementação de cornijas, beirais, pingadeiras, entre outros detalhes, pode ser observado no Edifício Martinelli, construído em 1929, sito na Rua São Bento nº 405, no centro da cidade de São Paulo. A edificação possui dispositivos protetores naturais, providos por detalhes arquitetônicos que “expulsam” a água das fachadas e permitem uma vida útil longa de mais de 85 anos, conforme se observa na Fig. 6. Fato é que, nesses casos, a importância da qualidade do concreto e da espessura de cobertura é de relevância secundária. Adicionalmente, o programa de manutenção deste edifício consiste na lavagem com baixa pressão das fachadas a cada 5 anos, visando a preservação da coloração original, e na reposição do hidrofugante aplicado e reparo eventual dos trechos com deslocamento de argamassa a cada 8 anos.



Figura 6. Edifício Martinelli: (a) vista da fachada na Av. São João; (b) detalhes arquitetônicos empregados; (c) após período chuvoso, não foram observados manchas de água na fachada (registro em abril/2017).

Em contraste, pode-se destacar como exemplo o prédio da FAUUSP (Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo), sito na Rua do Lago nº 876, Butantã (Fig. 7).



Figura 7. Detalhe da fachada do prédio da FAUUSP: antes de 2010 (créditos: Nelson Kon)

Após aproximadamente 40 anos de sua construção, em uma inspeção detalhada, fora constatado um quadro patológico intenso de corrosão de armaduras, conforme apresentado na Fig. 8. Tal fato culminou numa intervenção corretiva de grande porte, visando à reabilitação da estrutura, inclusive prevendo em seu memorial a instalação de chapins nos topos das empenas e sistema duplo de proteção superficial envolvendo um produto hidrofugante à base de silicose de base solvente (silano/siloxano) e sobre este um verniz à base de resina acrílica 100% pura, semibrilho, base solvente (sem estireno).

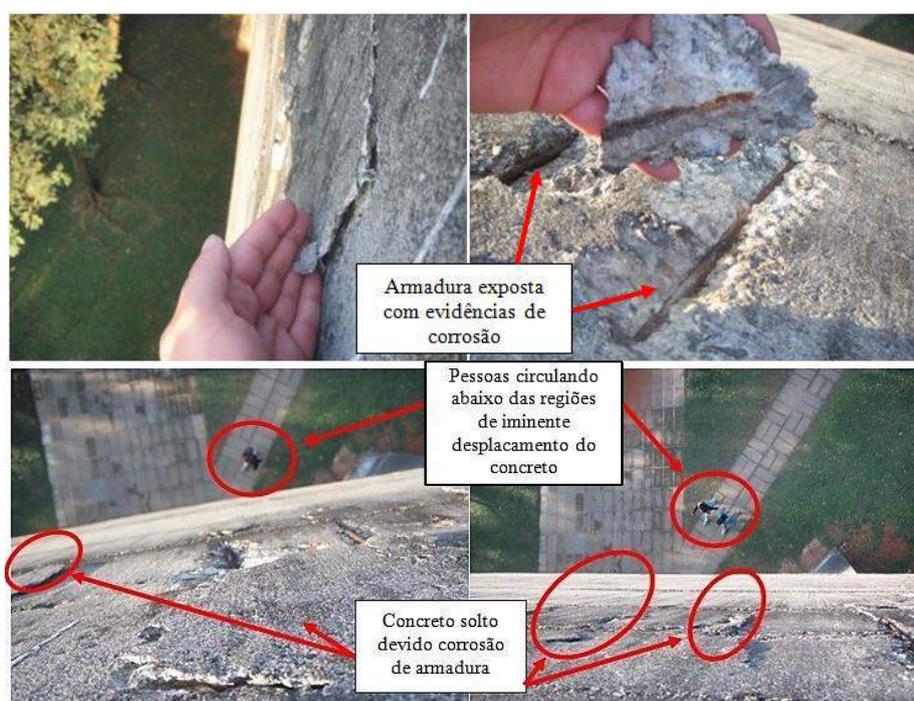


Figura 8. Detalhe dos deslocamentos observados nas empenas devido à corrosão das armaduras.

Erros de execução como a baixa espessura de cobrimento detectada durante inspeção realizada em diversos pontos das empenas, aliados a uma falta de manutenção preventiva contribuíram para esse quadro de avaria, no entanto, a ausência de detalhes arquitetônicos possivelmente favoreceu o cenário precoce degradante, quando observado o comportamento do fluxo de água nas empenas num dia de chuva (Fig. 9).



Figura 9. Detalhe da evolução do fluxo de água proveniente das chuvas pelas empenas do prédio da FAU USP.

Outro projeto expressivo onde o fluxo de água pode se tornar um problema, caso soluções arquitetônicas, proteções superficiais e de manutenção não sejam adequadamente previstas, é o Museu de Imagem e do Som do Rio de Janeiro (MIS-RJ). Assim como na FAU, há locais onde o fluxo de água será frequente e em contato direto com a estrutura em concreto aparente, conforme pode ser observado na Fig. 10. Corroborando esse cenário, é possível observar o comportamento do fluxo de água num dia de chuva numa das fachadas da estrutura do MIS-RJ durante a sua fase de acabamentos (Fig. 11).



Figura 10. Projeto da nova sede do MIS-RJ e detalhe dos pontos críticos em relação à incidência de fluxos de água das chuvas.



Figura 11. Detalhe dos fluxos de água observados nas empenas da fachada da nova sede do MIS RJ, após período chuvoso (registro de 20/06/2014).

Para contornar essa exposição desfavorável da estrutura à água de chuva, foi especificado um sistema duplo de proteção superficial envolvendo hidrofugante (hidrorepelente) base 100% silano (duas demãos) e posterior revestimento com solução aquosa hidro e óleofugante base fluorsilano (aplicação em 1 demão) com propriedades *easy to clean*, com renovação da segunda etapa do sistema de proteção superficial em intervalos inferiores a cinco anos, considerando as ressalvas de um programa de manutenção preventiva adequado para assegurar uma vida útil da estrutura superior a 50 anos (BRITEZ et al., 2016).

Apesar da ABNT NBR 6118 (2014) prescrever o uso de proteções e detalhes arquitetônicos desde sua versão de 2003, ainda é comum observar edificações na cidade de São Paulo que não observam essas boas práticas fundamentais para a durabilidade e vida útil das estruturas de concreto, conforme exemplo da Fig. 12.

Após uma chuva torrencial ocorrida na zona norte de São Paulo entre, aproximadamente, 21h de 06/04/2017 e 3h de 07/04/2017 (CLIMATEMPO, 2017), a fachada principal da edificação a seguir descrita apresentou uma grande mancha de água impregnada em sua superfície, a qual permaneceu até 12h30 do dia 07/04/2017, mesmo com a interrupção do período chuvoso neste intervalo (mais de 10h de permanência). Ressalta-se que a edificação em questão possui somente de 10 anos de idade e já apresenta diversas manchas de fuligem, potencializadas pelas questões de fluxos de água de chuva frequentes sobre a superfície.



Figura 12. Manchas observadas nas fachadas das torres de um condomínio situado na Zona Norte da cidade de São Paulo.

Adicionalmente, no tocante às estruturas de obras de artes especiais, é comum encontrar pontes e viadutos em elevado estado de deterioração devido à falta de detalhes de projeto (buzinotes, chapins, pingadeiras, drenagem adequada), falta de estanqueidade de juntas de dilatação e ausência de programa de manutenção (Figs. 13 e 14).





Figura 14. Exemplo de drenagem ineficiente: Elevado Costa e Silva com pontos de alagamento em 08/09/2009 (Créditos: Luciana Pinheiro Lino de Souza/VC no G1).

Do ponto de vista de tecnologia dos materiais, é possível construir elementos estruturais sem detalhes arquitetônicos, por meio do uso, por exemplo, de concreto autolimpante com incorporação de dióxido de titânio em sua dosagem ou pelo uso de sistemas de proteção superficial do tipo hidrofugantes com dióxido de titânio em sua formulação (Fig. 15), com o intuito de preservar a integridade e estética da edificação (MARANHÃO et al., 2008). Entretanto, o maior problema, nestes casos, está relacionado com as questões de viabilidade econômica.



Figura 15. Igreja do Jubileu em Roma, construída em concreto branco autolimpante. (SERAPIÃO, 2004; BERNARDES, 2016)

Apesar de simples, o conceito de proteção de elementos está bem enraizado quando envolve elementos metálicos e de madeira, onde é comum verificar abrigos em forma de telhados e coberturas arquitetônicas (Fig. 16), a fim de se evitar o contato direto da água de chuva com portas, portões e afins.



Figura 16. Exemplos de residências com portões protegidos contra a ação direta das chuvas.

Em contradição, o exemplo mais significativo da necessidade de proteção devido ao risco de corrosão de armaduras em uma estrutura metálica exposta, está associado com a Torre Eiffel (Fig. 17), que atrai quase sete milhões de pessoas por ano, sendo um dos pontos turísticos mais visitados do mundo (HAUS, 2017). Segundo Martin (2003), a Torre Eiffel foi um projeto revolucionário em aço resistente, mas leve o suficiente para reduzir a sobrecarga em sua fundação. Ao mesmo tempo, sua construção foi econômica e esteticamente agradável, mas, o aço não foi galvanizado e nem foi usado aço inoxidável.

Martin (2003) destaca ainda que o tamanho e a geometria da torre impõem um trabalho árduo de proteção contra a corrosão e manutenção do aço carbono, e que esta manutenção é particularmente complexa. A operação de manutenção acontece a cada 7 anos, dura 14 meses e utiliza 60 t de tinta sobre uma área de total de 200.000 m<sup>2</sup>. Durante este período, os reparos da torre de 320 m de altura acontecem em toda a sua estrutura, por uma equipe de 25 pintores que removem a ferrugem, as sujeiras dos pássaros, as lascas de tinta e os danos causados pela poluição da cidade (Fig. 17).



Figura 17. Vista da Torre Eiffel e detalhe do processo de pintura em execução (EUROPEAN TRIPS, 2017).

Este exemplo é um dos mais significativos de longevidade de estruturas por meio de manutenção preventiva e corretiva. O monumento se prepara para uma longa reforma e processo de modernização, que deve acontecer pelos próximos 15 anos e está estimado em um total de 300 milhões de euros (ou mais de R\$1 bilhão). Com esta reforma, o custo anual para manutenção passa de € 13.7 milhões para € 20 milhões (HAUS, 2017).

#### 4 Considerações Finais

1. Considera-se que a vida útil das estruturas não está relacionada apenas com a qualidade do concreto empregado (relação a/c, consumo de cimento e resistência mínima à compressão), sua espessura de cobrimento e com uma execução primorosa, pois a grande maioria dos mecanismos de deterioração das estruturas está intimamente associada à presença de água, a qual, claramente, pode ser minimizada com o emprego de detalhes arquitetônicos, os quais, em sua maioria, já estão previstos na normalização brasileira e em literaturas consagradas;
2. Aliada ao emprego de detalhes arquitetônicos, a utilização de proteções superficiais, tais como pinturas e revestimentos hidrófugos também é determinante para a durabilidade das estruturas, visto que auxiliam na redução do contato da água com a edificação ou obra de arte especial;
3. Evidentemente, todas as medidas profiláticas adotadas devem ser acompanhadas de um plano de manutenção preventiva e corretiva, o qual é dependente das particularidades de cada projeto, contendo, por exemplo, a limpeza das fachadas, eventuais reparos e renovação dos sistemas de proteção superficiais e de drenagem, com uma periodicidade fixa, visando manter a integridade, a estética e a funcionalidade da estrutura.

#### 5 Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118**: Projeto de estruturas de concreto - Procedimento. Rio de Janeiro, 2014. 238p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-1**: Edificações habitacionais — Desempenho. Parte 1: Requisitos gerais. Rio de Janeiro, 2013. 71p.

BERNARDES, M. **Materiais inovadores a serviço da autolimpeza e da despolição das cidades**. Pini blogs. São Paulo, fev. 2016. Disponível em: <<http://blogs.pini.com.br/posts/tecnologia-sustentabilidade/materiais-inovadores-a-servico-da-autolimpeza-e-da-despoluicao-das-368105-1.aspx>> Acesso em: 13 abr. 2017.

BRITEZ, Carlos; PACHECO, Jéssika; BUENO, Suely; HELENE, Paulo. Concreto e concretagem de paredes inclinadas em concreto aparente. In.: **58º Congresso Brasileiro do Concreto**, Belo Horizonte/MG, 2016. 16p.

CLIMATEMPO. **São Paulo registra maior chuva em 24h para abril em 74 anos** - balanço do temporal de 6 e 7 de abril. São Paulo, 8 de abril de 2017. Disponível em <https://noticias.terra.com.br/climatempo/sao-paulo-registra-maior-chuva-em-24h-para->

abril-em-74-anos-balanço-do-temporal-de-6-e-7-de-abril,49214b20235d603d4bbd6ae95d27ca2evbtn8aff.html Acesso em: 18 abr. 2017.

COUPER, R. **Factors affecting the production of surface runoff from wind-driven rain.** RILEM International Symposium, Rotterdam del. 1.1.2, 1974.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. **EUROCODE:** Basis of structural design. EN 1990. Brussels, Belgium, 2002.

EUROPEAN TRIPS. Eiffel Tower: **The Iron Lady** – Paris Landmark. 2017. Disponível em: <<http://europeantrips.org/eiffel-tower-iron-lady.html>> Acesso em: 13 abr. 2017.

*fib* COMITE EURO-INTERNATIONAL du BETON. *fib* Model Code for Concrete Structures 2010. CEB-FIP model code. 2013.

FLAUZINO, W. D. **Durabilidade de materiais e componentes das edificações: metodologias e suas aplicações no caso de pinturas externas e chapas onduladas de plástico.** 1983. 214 p. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, 1983.

HAUS. **Paris anuncia longa reforma e modernização na Torre Eiffel.** Gazeta do povo, 17/01/2017. Disponível em: <<http://www.gazetadopovo.com.br/haus/arquitetura/em-producao-reforma-da-torre-eiffel/>> Acesso em: 18 abr. 2017.

HELENE, P. R. L. **Corrosão em armaduras para concreto armado.** São Paulo: Pini, 1986. 46 p.

HELENE, P. R. L. Vida útil das estruturas de concreto. 1997. **IV Congresso Ibero-Americano de Patologia das Construções / VI Congresso de Controle da Qualidade.** ANAIS, v.1, p.1-30, Porto Alegre, 1997.

MARANHÃO, F. L.; LOH, K.; JOHN, V.M. **O uso da fotocatalise em materiais autolimpantes.** Técnica. São Paulo, dez. 2008. Edição 141, p. 50-54.

MARTIN, M. The Eiffel Tower: cost of not galvanizing. KoreaZinc Company, 2003. Disponível em: <[http://www.koreazinc.co.kr/english/library/inc\\_epel.htm](http://www.koreazinc.co.kr/english/library/inc_epel.htm)> Acesso em: 20/08/2010.

PEREZ, A. R. Umidade nas edificações: recomendações para a prevenção da penetração de água pelas fachadas. In: DIVISÃO DE EDIFICAÇÕES DO IPT (Org.). **Tecnologia de Edificações.** São Paulo: Pini, 1988. p. 571-577.

ROMÉRO, M. A.; SIMÕES, J. R. L. **A importância do detalhamento de componentes construtivos de fachada nos edifícios.** 1995. I Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas – ANAIS, v.1, p.441-453. Goiânia, 1995.



Anais do 59º Congresso Brasileiro do Concreto  
CBC2017  
Outubro-Novembro / 2017



@ 2017 - IBRACON - ISSN 2175-8182

SERAPIÃO, F. **Richard Meier**: Igreja do Jubileu, Roma. Curvas e quadrados sagrados. São Paulo: Arcoweb, 2004. Disponível em:  
<<https://arcoweb.com.br/projetodesign/arquitetura/richard-meier-igreja-e-18-03-2004>>  
Acesso em: 13 abr. 2017.

THOMAZ, E. **Patologias**. In: **ABCI – Associação Brasileira de Construção Industrializada. Manual Técnico de Alvenaria**. São Paulo: Projeto/PW, 1990. p.97-117.

UEMOTO, K. L. **Projeto, execução e inspeção de pinturas**. 2.ed. São Paulo: O Nome da Rosa, 2005. 112p.