RECUPERAÇÃO E PROTEÇÃO DE ESTRUTURA DE CONCRETO RESULTANTE DA FALHA DE EXECUÇÃO DA ESTRUTURA EM UMA ÁREA INDUSTRIAL – ESTUDO DE CASO

Wrubel Moreira, Kirke Andrew[1]

[1] Faculdade Educacional Araucária, Professor de Estruturas, Mestre em Engenharia, e-mail: kirke.andrew@terra.com.br

RESUMO

O crescimento e o investimento em uma planta industrial sempre estão relacionadas com a capacidade de produção, com a demanda e a aprovação dos produtos pelo mercado consumidor num período projetado. Normalmente, quando se necessita ampliar uma indústria, opta-se em muitos casos, pela a redução de prazos na execução para que o investimento seja retribuído em menores prazos. No entanto, ao se escolher o sistema de execução e equipe de obras do empreendimento, deve-se observar alguns cuidados, como por exemplo, as premissas e orientações da NBR 6118/2007 para o projeto e execução de estruturas de concreto armado. Tais cuidados certamente incluem os critérios de dimensionamento das peças, aos quais, obrigatoriamente deverão obedecer o local e aplicação da estrutura, e assim especificar a classe de concreto e o cobrimento mínimo. As especificações deverão ser atendidas pela equipe executante da obra. Esse trabalho irá apresentar um estudo de caso de reparo e proteção de estruturas de concreto armado de uma ampliação industrial de uma fábrica de essências, localizada no distrito industrial da cidade de Ponta Grossa – PR, ao qual foi executada em concreto armado, e que, após cinco anos de sua execução, apresentaram manifestações patológicas como desplacamento do concreto e exposição da armadura. Verificou-se que tais problemas foram originados no momento de execução da obra como por exemplo a escolha inadequada do concreto aplicado e no posicionamento de algumas armaduras. Fez-se então um diagnóstico da estrutura para possibilitar a especificação dos sistemas de reparo e proteção.

Palavras chave: Desplacamento, corrosão, cobrimento, reparo, proteção

ABSTRACT

Growth and investment in an industrial plant are always related to production capacity with demand and approval of products designed for the consumer market in a period. Normally, when you need to expand an industry opts in many cases, by the reduction of time in the running for the investment is repaid in shorter periods. However, when choosing the system implementation and team building the project, you must observe some precautions, such as assumptions and guidelines of NBR 6118/2007 for the design and construction of reinforced concrete structures. Such care will certainly include the design criteria of the pieces, which necessarily must follow the application site and structure, and thus specify the class and the minimum concrete cover thickness. The specifications should be met by the staff performing the work. This paper will present a case study of repair and protection of reinforced concrete structures for industrial expansion of a plant essences, located in the city of Ponta Grossa industrial district - PR, which was executed in reinforced concrete and, after five years of its implementation, as presented pathologic manifestations detachment concrete and exposure of reinforcement. It was found that such problems were originated at the time of execution of the work such as the inappropriate choice of concrete applied and the positioning of some armor. Then made a diagnosis of the structure to allow the specification of protection and repair systems.

Keywords: Detachment, corrosión, thickness, repair, protecntion systems

1. INTRODUÇÃO

O concreto é após a água o material mais utilizado no mundo (MEHTA e MONTEIRO, 2008). A primeira razão refere-se à excelente resistência do concreto à água e quando bem dosados e projetados não possuem grave deterioração por esse elemento em relação ao outros materiais estruturais como a madeira e o aço. O concreto possui facilidade de se gerar formas e tamanhos de estruturas, ou seja, versatilidade geométrica. Mais ainda, tem-se como vantagem do uso do concreto o baixo custo em relação a outras estruturas, facilidade de manutenção, resistência ao fogo, facilidade de acesso do material e/ou seus componentes, etc.

Associados a armaduras, formando o concreto armado e protendido, existe praticamente um equacionamento positivo de custo e benefício para essa solução estrutural, podendo então ser adotadas estruturas moldadas *in loco* ou pré fabricadas em indústrias.

No entanto as construções em concreto deverão seguir os requisitos da NBR 6118/2007, visando diversos requisitos, entre eles, a durabilidade em relação ao ambiente exposto. Porém torna-se também fundamental que os requisitos projetados sejam aplicados e fiscalizados na execução de qualquer obra em concreto armado. O presente trabalho apresentará um estudo de caso de reparo e proteção de estruturas feitas após a inspeção devido ao surgimento de manifestações patológicas na planta de ampliação de uma indústria de essências, realizada em concreto armado, e localizado na zona industrial da cidade de Ponta Grossa – PR. A ampliação ocorreu em 2004 (deve-se lembrar que os requisitos de durabilidade são os mesmos entre as NBR 6118/2003 e NBR 6118/2007) e que apresentou desplacamento de concreto e exposição de armadura em 2009 devido a não atendimento aos requisitos na norma quanto a espessuras de cobrimento e possivelmente não atendendo a classe de concreto visando a durabilidade em área industrial.

2. DURABILIDADE DAS ESTRUTURAS DE CONCRETO

Os concretos deverão ser duráveis frente às solicitações às quais será exposto durante a vida útil. A durabilidade depende de diversos fatores extrínsecos aos concretos, tais como presença de sais, maresia, chuvas ácidas, umidade relativa, natureza das solicitações mecânicas, etc.

Em estruturas de concreto armado, o aço, é o elemento mais sensível ao ataque do meio ambiente e por esse motivo as estruturas devem ficar protegidas em função do ambiente que estão expostas. Essa proteção é feita pelo concreto e pela espessura de aplicação obedecendo os requisitos da NBR 6118/2007.

2.1 Requisitos de Durabilidade da Norma NBR 6118/2007

Abaixo segue a Tabela 1 resumindo os requisitos exigidos pela NBR 6118/2007 visando a durabilidade frente a agente agressivos em função ao local de aplicação do concreto. A tabela

apresenta valores apenas para o concreto armado e que deverão ser respeitados na execução da estrutura.

Tabela 1: Durabilidade segundo a NBR 6118/2007

Concreto	**Classes**			
	Fraca	Moderada	Forte	Muito Forte
Relação a/c	≤ 0,65	≤ 0,60	≤ 0,55	≤ 0,45
Classe	≥ C20	≥ C25	≥ C30	≥ C40
Cobimento Viga/Pilar (mm)	25	30	40	50
Cobrimento Laje (mm)	20	25	35	45

HELENE (2007) sugere que caso o concreto tenha acréscimos de adições tais como pozolanas e escórias, o valor de cobrimento deverá ser aumentado em no mínimo 10%. Abaixo, é apresentado a Figura 1 adaptada de HELENE (2007) resumindo a agressão das armaduras em estruturas de concreto armado, caso as mesmas ocorram.

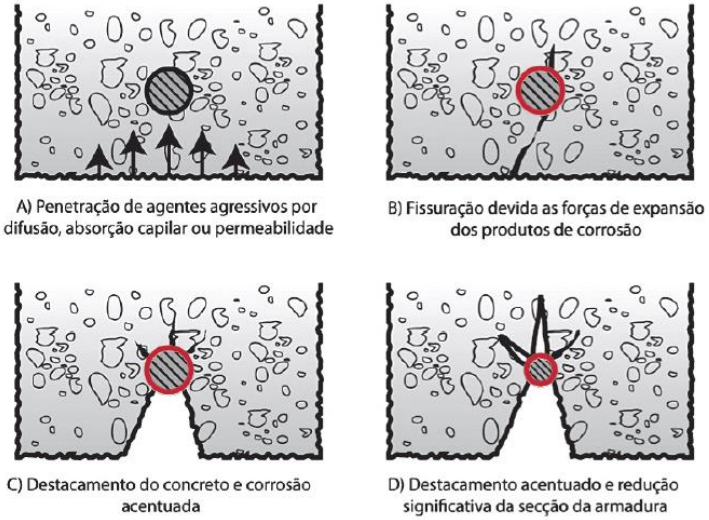

Figura 1: Corrosão de armadura e desplacamento do concreto

2.2 Fatores que contribuem para a corrosão de armaduras

Quando atendidos parcialmente ou não atendidos os requisitos expostos no item 2.1, a estrutura de concreto armado possui grandes probabilidades de ser agredidas por agentes externos ao ambiente. Alguns fatores como apresentados por Figueiredo e Meira (2011) poderão contribuir para acelerar o processo de corrosão de estruturas de concreto, sendo elas:

a) Efeito da umidade, resistividade e acesso de oxigênio:

- O concreto seco possui uma alta resistividade. Nessas condições, o concreto não permite a mobilidade dos íons.
- À medida que a unidade interna do concreto aumenta, a resistência ôhmica vai diminuindo e o processo de corrosão pode se desenvolver, caso a armadura esteja despassivada.
- Quando os poros do concreto estão saturados de água, a resistividade é a menor possível, porém o oxigênio encontra maior dificuldade para chegar até a armadura. Nessa situação, o processo de corrosão está controlado pelo acesso de oxigênio, ou seja controlado catodicamente.
- As velocidades de corrosão máximas se dão em concretos com teores umidades altos, porém sem saturar os poros

b) Efeito da temperatura:

- O aumento da temperatura estimula a mobilidade das moléculas, favorecendo seu transporte através da microestrutura do concreto.
- A corrosão aumenta duas vezes a cada aumento de 20ºC.
- Os efeitos da temperatura a -20ºC e os resultados sugerem que a velocidade de corrosão é reduzida 10 vezes a cada redução de temperatura de 20ºC abaixo de 0ºC.

c) Formação de macrocélulas de corrosão:

- Por diferença de concentração de sais (íons cloreto).
- Por diferença de pH.
- Pela presença de fissuras.
- Por aeração diferencial.
- Pela formação de pilhas galvânicas.

2.3 Procedimentos para o tratamento de estruturas com armaduras expostas

No caso de exposição de armadura em concretos, as estruturas deverão ser recuperadas para devolver a integridade das mesmas, para não permitir o agravamento do problema e assim voltar a garantir um certo nível de desempenho frente a durabilidade. Porém torna-se necessário se fazer uma investigação quanto as origens, causas, mecanismos e momentos de surgimento da manifestação patológica com o objetivo de prevenção quanto ao surgimento de novos problemas estruturais, bem como inspecionar pontos potenciais de agressividade na

estrutura. No entanto a recomposição da estrutura e a proteção passam pelos seguintes procedimentos (Método Convencional), conforme HELENE (1992) e BERTOLINI (2010):

- Demarcação das áreas do concreto danificado
- Verificação da integridade do concreto (feitos por inspeção através de testes como por exemplo a aplicação da fenolftaleína).
- Remoção do concreto danificado.
- Limpeza da armadura para a remoção de pontos de oxidação ou danos a armadura.
- Limpeza do concreto para a remoção de poeira, partículas soltas e outros agentes que possam prejudicar a adesão se sistemas de reparo.
- Aplicação de material para passivação da armadura.
- Aplicação de ponte de aderência na superfície do concreto, ou seja, material que auxiliará na adesão do concreto com o material de reparo.
- Aplicação do material de reparo, usualmente grautes ou argamassas poliméricas estruturais.
- Verificação e caso haja necessidade, a aplicação de material de nivelamento.
- Aplicação de proteção superficial da estrutura. Normalmente são utilizados pinturas acrílicas, poliuretânicas, etc. Segundo KAZMIERCZAK (1995) deve-se avaliar as opções existentes e as bases químicas com o objetivo de que a proteção seja durável, não apresente envelhecimento acelerado, modificações de suas propriedades em curto espaço de tempo, etc para que a solução possa contribuir com a durabilidade em maiores prazos.

É importante observar que o material de reparo deverá ser isento de retração para não permitir novas penetrações de agentes agressivos, ter resistência mecânica a compressão igual ou superior a estrutura existente e ser impermeável. Abaixo na Figura 2 segue um resumo do sistema de reparo apresentado por TAKAGI (2003):

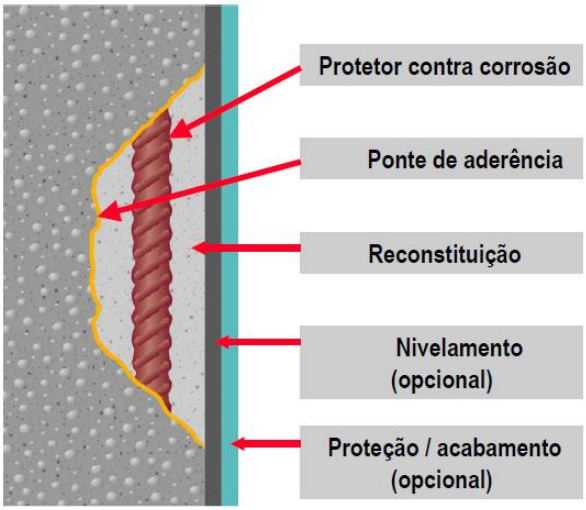

Figura 2: Resumo do procedimento convencional de reparo de estrutura

3. ESTUDO DE CASO

O estudo apresentado a seguir, informa o surgimento de manifestações patológicas por desplacamento do concreto e exposição de armadura da estrutura, após a ampliação da unidade de essências para o uso na indústria de cosméticos, localizado na zona industrial da cidade de Ponta Grossa – PR. A estrutura foi ampliada em 2004 e apresentou as primeiras manifestações patológicas em 2009. Então foi realizado um diagnóstico da estrutura para que fosse possível escolher os melhores procedimentos de reparo e proteção.

3.1 Características da estrutura

De acordo com os requisitos de durabilidade da NBR 6118/2007, a estrutura estava localizada em zona industrial e manipulava produtos químicos, sendo então classificadas como classe 4. As estruturas nessas situações deveriam ser executadas com concreto classe C40 (Resistência mecânica à compressão acima de 40 MPa), fator a/c inferior a 0,45 e cobrimento de 45 mm para lajes e 50 mm para vigas e pilares. No entanto, a inspeção da estrutura não apresentou essas características, conforme pode ser observado no próximo item (3.2) gerando então os problemas de corrosão da armadura e desplacamento do concreto.

3.2 Identificação das manifestações patológicas

Primeiramente foi realizado a verificação da classe do concreto empregado na ampliação da obra. Verificou-se que não existia no arquivo da indústria informações relativas sobre a classe do concreto. Posteriormente foi-se buscar as informações com o fornecedor do concreto, que apresentou os resultados de controle tecnológico e informações sobre o concreto solicitado na

ocasião da ampliação. Segundo as documentações da central fornecedora, o concreto aplicado foi de fck 40 o que atendeu à solicitação do projeto estrutural.

Por se tratar de uma área industrial, fez-se então o teste de carbonatação da estrutura nos pontos de armadura exposta através da aplicação de fenolftaleína. Encontrou-se concreto sem carbonatação em profundidades entre 15 e 55 mm constatando então que a estrutura já apresentava tais problemas. Porém outros ensaios poderiam ser feitos para garantir tal informação como por exemplo, a extração de testemunhos.

Em relação a armaduras expostas, as mesmas ocorreram nas vigas e nos pilares, não sendo identificadas nas lajes. Fez-se então a medição de pontos escarificados da estrutura (dez pontos distintos), e verificou-se que o cobrimento da armadura na estrutura estavam na faixa entre 15 mm até 50 mm. Possivelmente o problema tinha como origem o mal posicionamento de armaduras no momento de execução ou, ainda, o deslocamento das mesmas quando o concreto foi aplicado.

Em relação ao estado das armaduras, encontrou-se uma distinção de situações de corrosão, sendo que em alguns pontos a corrosão não apresentava modificações elevadas na armadura e em outros, sim. Porém alguns pontos com cobrimento elevados de armadura apresentavam modificações de corrosão mais elevados que em pontos com menor cobrimento de armadura, acreditando-se então que provavelmente existe concretos com classes diferentes aplicados na estrutura, conforme podem ser observados na Figura 5 e Figura 6. Porém ensaios de extração de testemunhos poderiam comprovar a diferença de resistência, caso fosse necessário atribuir responsabilidades.



Figura 3: Armadura exposta em baixo cobrimento



Figura 4: Armadura exposta em cobrimentos mais elevados



Figura 5: Situação de armadura com baixo cobrimento



Figura 6: Corrosão ocorrendo em maiores cobrimentos

O conjunto concreto armado não apresentou danos estruturais como a formação de fissuras, flechas ou outras situações de riscos à segurança estrutural, sendo então que não foi necessário intervenção nesse processo. No entanto, a não recuperação da estrutura danificada, poderá em qualquer momento promover danos de segurança a estrutura devido a perda de capacidade do concreto e da armadura em suportar as esforços submetidos pela estrutura, podendo então gerar riscos as usuários.

3.3 Procedimentos para reparo e proteção

a) Argamassa de reparo

Com o objetivo de atender os requisitos de durabilidade da estrutura, verificou-se que a estrutura precisava receber uma argamassa de reparo não retrátil, impermeável e com resistência superior a 40 MPa após curada. Portanto quanto ao preparo do concreto e da armadura, os requisitos informados no item 2.3 foram atendidos. Identificou-se que 60 % dos reparos eram com espessuras entre 15 mm a 30 mm, 25% entre 30 mm e 50 mm e 15% com espessuras superiores a 15 mm, totalizando uma área de 20 m² com 0,60 m³ de argamassa de reparo. Optou-se em aplicar uma argamassa polimérica estrutural auto adesiva a estrutura, protetora contra corrosão de armadura e material de reparo. O produto escolhido apresentou as seguintes características:

- Não necessidade de ponte de aderência e protetor contra corrosão
- Reforçada com fibras
- Monocomponente
- Aplicado manualmente
- Grande resistência à carbonatação (segundo ensaios do fabricante)
- Aplicado em espessuras médias de 60 mm
- Rendimento de 1520 Kg/m³

Os procedimentos complementares de utilização da argamassa polimérica estrutural seguiram os requisitos informados pelo fabricante sendo observados as técnicas de preparo, tempo de manuseio, processo de aplicação e cura.
A argamassa polimérica estrutural após aplicado, mostrou-se isenta de retração e com acabamento sem rugosidade exagerada e desnivelamento conforme podem ser observados na Figura 7 e Figura 8



Figura 7: Argamassa de reparo aplicado em pilar



Figura 8: Argamassa de reparo aplicado nas vigas

b) Proteção da estrutura

Conforme diagnosticado e informado, a armadura da estrutura não apresenta cobrimento suficiente para evitar o ataque de agentes agressivos pelo qual ela se encontra exposta. Seria necessário se ter uma espessura mínima de 50 mm para o cobrimento de vigas e pilares (estruturas que apresentaram as manifestações patológicas) e como visto no item 3.2, não existe em diversos pontos o cumprimento desse requisito.

Com o objetivo de evitar novos danos à estrutura, optou-se após 28 dias de aplicação do sistema de reparo (argamassa polimérica estrutural), a utilização de um sistema de proteção de estrutura baseada em nanotecnologia para proteção da estrutura contra agentes agressivos da

atmosfera. Essa solução foi adotada para evitar a solução de aumento de cobrimento da estrutura com procedimentos tradicionais, como a aplicação de uma argamassa a base de cimento, impermeável, não retrátil e com espessuras mínimas de aplicação na ordem de 30 mm, para atender o cobrimento mínimo exigido pela estrutura, ou produtos especiais a base de cimento, que poderiam ser aplicados em espessuras menores (ordem de 2 a 3 mm), porém de forma espatulada ou com desempenadeiras. Essas soluções citadas, certamente atenderiam os requisitos de proteção da estrutura, porém são demoradas, com custos elevados e com maiores chances de erros de execução o que poderia não garantir a eficiência do processo.
A solução em forma de pintura foi a aplicação de 400 g/m² (equivalente a uma espessura de 200 µm) em duas demãos de um revestimento pigmentado a base de poliuretano que possui as seguintes propriedades (TAKAGI, 2003):

- Aumento do cobrimento do concreto: Testes apontavam que o produto tinha como característica uma resistência a difusão de CO_2 de 3.628 m, o que equivale a termos práticos, que, após aplicado e curado, o CO_2 deveria vencer uma espessura equivalente de 440 cm de cobrimento da estrutura. (de acordo com a norma ZTV-WG parte 3, parágrafo 4 e DIN 4102, como material classe B1). Um resumo é apresentado na Figura 9 e Figura 10.
- Resistência ao ataque de outros elementos: Testes também comprovavam que o produtos tinha resistência à cloretos ao intemperismo e raios UV, ou seja, após curado, a solução não se degradava com outros elementos, não amarelava ou desplacava.
- Facilidade de aplicação: Em forma de pintura, com menor probabilidade de erros devido a falta de espessura de proteção, secagem inadequada do material, etc.

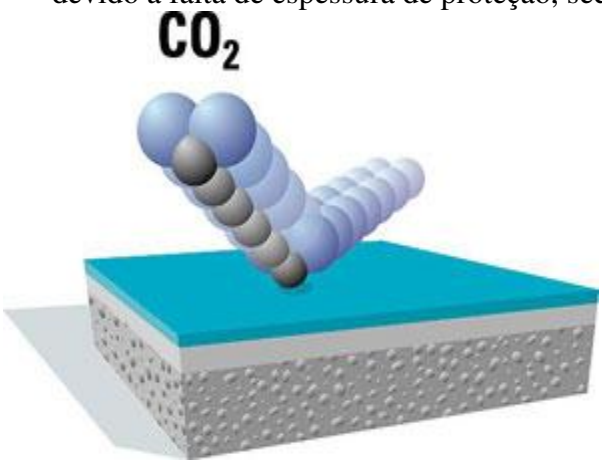

Figura 9: Resistência a penetração de CO_2

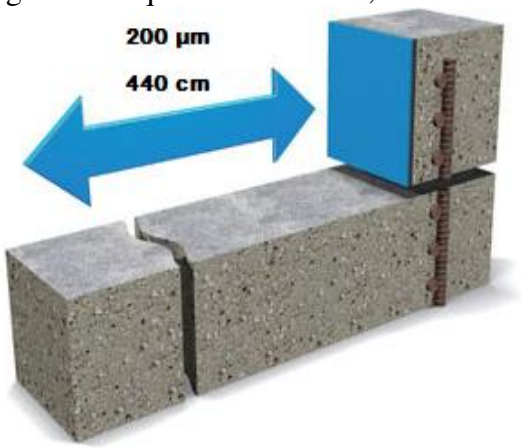

Figura 10: Aumento de cobrimento de proteção

3.4 Procedimentos de controle

A solução a base de pintura foi aplicada em duas demãos e em cores diferentes. A última demão foi aplicada na cor cinza por opção do proprietário da obra. A primeira demão foi aplicado em branco (Figura 11 e Figura 12). Essa solução foi adotada com o objetivo de se criar um procedimento de inspeção futuras para a estrutura. A expectativa de durabilidade da solução adotada é de 10 anos, porém torna-se mais acessível a manutenção preventiva de proteção da estrutura adotando-se a pintura em pigmentações diferenciadas. Conforme

consulta ao fabricante, espessuras superiores a 100 µm já seriam suficientes para produzir o efeito de aumento de cobrimento do concreto, porém num período inferior a 10 anos. No entanto, para efeitos de nova aplicação do produto, torna-se fácil um novo procedimento quando se verificar a incidência da película em branco, indicando que a espessura de proteção já está próxima a 100 µm e então necessitando de uma nova proteção. A Figura 13 apresenta a situação final de reparo e proteção da estrutura.



Figura 11: Primeira demão em branco



Figura 12: Segunda demão em cinza



Figura 13: Estrutura final reparada e protegida

4. CONCLUSÃO

A observação ao requisitos de durabilidade da NBR 6118/2007 é justamente a prevenção de manifestações patológicas em estruturas de concreto armado, e apesar de obvio, ainda em alguns casos não se respeita alguns dos seus requisitos, como observado anteriormente nesse estudo de caso, gerando danos a segurança da edificação e custos de manutenção corretiva. A falta de controle da classe de aplicação do concreto e a falta de cuidado em relação ao posicionamento de armaduras para garantir o cobrimento mínimo especificado podem a curto prazos de tempo (nesse estudo em 5 anos) permitir o surgimento de manifestações patológicas na estrutura, necessitando então se realizar intervenções imediatas para evitar danos maiores e que possam prejudicar o desempenho e durabilidade da edificação. É importante observar que existem diversas técnicas e soluções no mercado brasileiro para se fazer o reparo e proteção da estrutura, porém para a estrutura desse estudo de caso primeiramente se optou na aplicação de uma solução para devolver o desempenho e durabilidade do conjunto global da edificação, para evitar o surgimento de novos danos, sendo adotado a aplicação de uma argamassa polimérica estrutural com testes e garantias de resultados fornecidos pelo fornecedor, aplicados por equipe capacitada e fiscalizados por engenheiros especialistas. Posteriormente procurou-se aplicar uma proteção contra novos ataques do ambiente, sendo que tal solução foi escolhida por promover o aumento do cobrimento do concreto, caso contrário, provavelmente a solução seria o aumento do cobrimento do concreto com a utilização de argamassas especiais (variação de 2 mm a 30 mm) com posterior aplicação de pinturas protetoras, ou seja, mais processos com maior chances de erros de execução, podendo gerar falhas de proteção. A melhor técnica certamente é sempre controlar as etapas de projeto, planejamento, execução e materiais atendendo os requisitos de durabilidade da estrutura, para evitar que intervenções sejam feitas, e quando necessárias, que sejam somente preventivas.

5. REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Projeto de estruturas de concreto: procedimento. NBR 6118/2007.** Rio de Janeiro: 2007.

BERTOLINI, L. Materiais de Construção: **Patologia, reabilitação e prevenção. Tradução Leda Maria Marques Dias Beck.** 1 edição, Editora Oficina de Textos, São Paulo, 2010

FIGUEIREDO, E.J.P e MEIRA, G.R in: ISAIA, G.C. **Concreto: Ciência e tecnologia. Capitulo 26: Corrosão das armaduras das estruturas de concreto.** Instituto Brasileiro do Concreto (IBRACON), São Paulo, 2011.

HELENE, P.R.L. **Manual de reparo, reforço e proteção de estruturas de concreto.** Editora PINI, São Paulo, 1992.

HELENE, P.R.L. **Comentários técnicos e exemplos de aplicação da NBR 6118/2003. Projeto de estruturas de concreto: procedimento.** Publicações Especiais IBRACON, São Paulo, 2007.

KAZMIERCZAK, C.S. **Contribuição para a análise da eficiência de películas aplicadas sobre estruturas de concreto armado com o objetivo de proteção contra a carbonatação.** Tese de doutorado, Escola politécnica da USP. São Paulo, 1995

MEHTA, P.K e MONTEIRO P.J.M. **Concreto: Microestrutura, propriedades e materiais.** Instituto Brasileiro do Concreto (IBRACON), São Paulo, 2008.

TAKAGI, E.M. **Apresentação: reparo e proteção.** MC Bauchemie Brasil, São Paulo, 2003