



**FUNDAÇÃO PRESIDENTE ANTÔNIO CARLOS - FUPAC
FACULDADE PRESIDENTE ANTÔNIO CARLOS DE UBÁ
ENGENHARIA CIVIL**

ALINE GASPARONI DOS SANTOS

**PRINCIPAIS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS RECORRENTES EM
ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO**

UBÁ/MG

2014

ALINE GASPARONI DOS SANTOS

**PRINCIPAIS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS RECORRENTES EM
ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de graduação em Engenharia Civil da Faculdade Presidente Antônio Carlos de Ubá, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.
Orientadora: MSc Iracema Mauro Batista.

UBÁ/MG

2014

PRINCIPAIS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS RECORRENTES EM ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO

Resumo

Apresentar, através de revisão bibliográfica, as principais causas, mecanismos e sintomas de uma estrutura de concreto degradada, sugerindo algumas medidas preventivas e reparativas de tais processos deteriorantes. O concreto armado é o material mais empregado na construção civil brasileira. Dentre seus diversos empregos, destacam-se o uso na execução de vigas, pilares, pontes, túneis, viadutos, entre outros elementos. Devido as suas múltiplas utilidades e crescente uso nas construções, é necessário que as estruturas feitas com este material atendam aos requisitos básicos de desempenho, durabilidade e vida útil desejados. Sabe-se que as estruturas de concreto armado sofrem degradação não só por falhas humanas cometidas nas etapas de concepção dos projetos e execução das obras, mas também pela agressividade ambiental, isto é, pela interação estrutura/meio ambiente. Além de comprometer o aspecto estético da edificação, as manifestações patológicas também comprometem a capacidade resistente da mesma, podendo levar ao colapso parcial ou total da construção, fato que pode demandar alto custo monetário para reparar, recuperar e até mesmo reforçar a estrutura afetada.

Palavras-chave: Concreto Armado. Manifestações Patológicas. Prevenção. Técnicas de Restauração.

MAIN PATHOLOGICAL MANIFESTATIONS RECURRING IN REINFORCED CONCRETE STRUCTURES

Abstract

Introduce, through literature review, the main causes, mechanisms and symptoms of a degraded concrete structure, suggesting some preventive and restorative measures such deteriorating processes. The reinforced concrete is the most used material in the Brazilian construction industry. Among her many application, we highlight the use in the execution of beams, columns, bridges, tunnels, viaducts, among other elements. Due to its multiple utility and increasing use in buildings, it is necessary that the structures made with this material meet the basic requirements for performance, durability and desired service life. It is known that the reinforced concrete structures are degraded not only by human errors committed in the stages of project design and execution of works, but also by environmental aggression, ie, by the structure interaction /environment. In addition to compromising the aesthetic appearance, the pathological manifestations undertake the bearing capacity of the building, which may lead to partial or total collapse of the building, which may require high monetary cost to repair, recover and even strengthen the affected structure.

Keywords: Reinforced Concrete. Pathological Manifestations. Prevention. Restoration Techniques.

1 INTRODUÇÃO

De todos os sistemas construtivos conhecidos no Brasil, o de concreto armado é o mais utilizado. Segundo dados de Pedroso (2009), estima-se que anualmente, são consumidas 11 bilhões de toneladas de concreto em todo o mundo, o que dá, segundo a Federación Iberoamericana de Hormigón Premesclado (FIHP), aproximadamente, um consumo médio de 1,9 toneladas de concreto por habitante por ano, valor inferior apenas ao consumo de água. Ele ainda ressalta que no Brasil, o concreto que sai de centrais dosadoras gira em torno de 30 milhões de metros cúbicos, sem contar com o consumo de pequeno porte. Sendo assim, é peça fundamental para o desenvolvimento da engenharia e arquitetura, e de todas as suas práticas.

Os principais fatores que contribuem para sua grande utilização são: sua capacidade de assumir qualquer forma com rapidez e facilidade, disponibilidade abundante e baixo custo de seus elementos constituintes e seu processo de execução ser relativamente simples.

A junção do cimento com a água forma uma pasta de cimento, que se for adicionada a um agregado miúdo dá origem à argamassa. Da mistura dessa argamassa com um agregado graúdo tem-se o concreto simples.

O concreto apresenta alta resistência à compressão e baixa, à tração, cerca de 8 a 10% da resistência à compressão (FUSCO, 2008). Sendo assim, é fundamental aliá-lo a um material com alta resistência à tração, a armadura. Dessa união, surge o Concreto Armado, em que a armadura, normalmente, na forma de barras de aço, absorve as tensões de tração e o concreto absorve as tensões de compressão. Também é necessário ocorrer o fenômeno da aderência: que haja solidariedade entre o concreto e o aço, isto é, que o trabalho de resistir às tensões seja realizado de forma conjunta.

As estruturas de concreto devem atender aos requisitos mínimos de qualidade durante sua construção e serviço e aos possíveis requisitos adicionais estabelecidos entre o engenheiro estrutural e o contratante. Tais requisitos são classificados de acordo com a NBR 6118 (ABNT, 2003, p. 13), dentre os quais, podem-se citar:

Capacidade Resistente: consiste basicamente na segurança à ruptura;
Desempenho em Serviço: consiste na capacidade de a estrutura manter-se em condições plenas de utilização, não devendo apresentar danos que comprometam em parte ou totalmente o uso para o qual foi projetada;
Durabilidade: consiste na capacidade de a estrutura resistir às influências ambientais previstas e definidas em conjunto pelo autor do projeto estrutural e o contratante, no início dos trabalhos de elaboração do projeto, a fim de conservar sua segurança, estabilidade e aptidão em serviço durante o período correspondente à sua vida útil.

A supracitada norma também conceitua vida útil da construção como sendo “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 dos reparos necessários decorrentes de danos acidentais” (NBR 6118, 2003, p. 15).

Apesar de toda sua resistência e durabilidade, as estruturas de concreto armado não estão livres de deterioração. Desde a elaboração e execução do projeto e durante sua vida útil estão sujeitas a fatores que poderão comprometer sua durabilidade e até mesmo sua estabilidade. Portanto, é válido ressaltar a importância dos cuidados na fase de projeto, na escolha dos materiais empregados durante a execução, de sua proteção e manutenção, pois quanto maiores os cuidados com a qualidade em cada fase, menor é a chance da estrutura apresentar alguma deterioração precoce.

O objetivo deste trabalho é apresentar as principais manifestações patológicas que podem ocorrer nas estruturas de concreto armado, incluindo suas origens, características e técnicas de prevenção e restauração.

Ter um conhecimento sobre os principais problemas recorrentes nas estruturas de concreto armado e o modo de evitá-los é indispensável a um bom profissional. Caso seja necessário algum reparo, também é importante que o mesmo saiba qual a melhor técnica de recuperação a ser empregada, a fim de evitar reparos insatisfatórios, retrabalhos ou perda da estrutura.

2 DESENVOLVIMENTO

Após alguns anos de utilização de uma estrutura de concreto armado, constata-se algumas vezes o aparecimento de manifestações patológicas que podem comprometer a durabilidade das construções.

Do grego (*páthos*, doença e *lógos*, estudo), Souza e Ripper (1998) conceituam Patologia das Construções, sendo o novo campo da Engenharia das Construções que se ocupa do estudo das origens, formas de manifestação, consequências e mecanismos de ocorrência das falhas e dos sistemas de degradação das estruturas e dividem a origem desses problemas patológicos em três fases:

- Conceção: falhas ocasionadas durante o estudo preliminar, na execução do anteprojeto ou elaboração do projeto. Como exemplo, podem-se citar os erros de dimensionamento, sobrecargas não previstas, especificação incorreta do cobrimento, estudo ineficaz das características do solo ou falta de um projeto de sondagem;
- Execução: erros associados a diversas causas, como a falta de condições locais de trabalho, não capacitação profissional da mão de obra, interpretação errada dos projetos, inexistência de controle da qualidade e dosagem dos materiais, irresponsabilidade técnica, perda da resistência do concreto pela falta de cura ou cura mal-executada, entre outras;
- Utilização: problemas ocasionados pelo uso em desconformidade com as especificações do projeto de cálculo ou pela falta de um programa de manutenção adequado.

A ação do ambiente nas estruturas de concreto armado também pode causar um dano progressivo na estrutura, tanto no próprio concreto como nas armaduras. Este dano pode ser do tipo físico, devido ao efeito da temperatura e químico, por causa das substâncias presentes no ambiente. Também podem ocorrer as ações biológicas ou mecânicas, por exemplo, como efeito da abrasão ou de cargas aplicadas à estrutura (NBR 6118, 2003). A agressividade ambiental deve ser classificada de acordo com o apresentado no QUADRO 1 e pode ser avaliada segundo as condições de exposição da estrutura ou de suas partes.

QUADRO 1 - Classes de agressividade ambiental

Classe de agressividade ambiental	Agressividade	Classificação geral do tipo de ambiente para efeito de projeto	Risco de deterioração da estrutura
I	Fraca	Rural	Insignificante
		Submersa	
II	Moderada	Urbana ^{1). 2)}	Pequeno
III	Forte	Marinha ¹⁾	Grande
		Industrial ^{1). 2)}	
IV	Muito forte	Industrial ^{1). 3)}	Elevado
		Respingos de maré	

¹⁾ Pode-se admitir um microclima com uma classe de agressividade mais branda (um nível acima) para ambientes internos secos (salas, dormitórios, banheiros,cozinhas e áreas de serviço de apartamentos residenciais e conjuntos comerciais ou ambientes com concreto revestido com argamassa e pintura).

²⁾ Pode-se admitir uma classe de agressividade mais branda (um nível acima) em: obras em regiões de clima seco, com umidade relativa do ar menor ou igual a 65%, partes da estrutura protegidas de chuva em ambientes predominantemente secos ou regiões onde chove raramente.

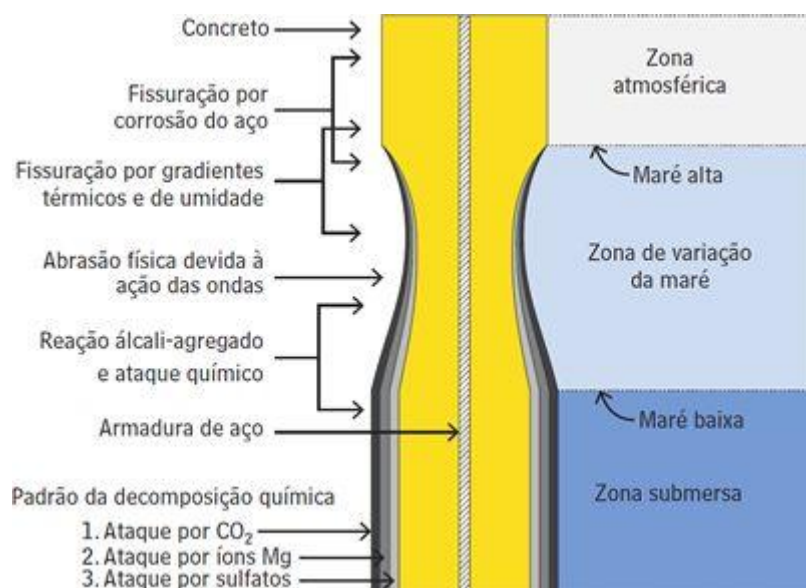
³⁾ Ambientes quimicamente agressivos, tanques industriais, galvanoplastia, branqueamento em indústrias de celulose e papel, armazéns de fertilizantes, indústrias químicas.

Fonte: NBR 6118 (2003, p. 16)

Desta forma, a análise do ambiente em que a estrutura estará, influi diretamente nas especificações do concreto e das proteções para alcançar a durabilidade pretendida.

Na natureza, uma das situações mais agressiva que o concreto armado é submetido, é a região de variação e respingos de maré sujeita a processos repetitivos de molhagens e secagens (FIG. 1). Laila Artigas, professora do Departamento de Construção Civil da Universidade Federal do Paraná (UFPR), explica que a água do mar é considerada mais agressiva nas zonas de variação de maré, porque nessas áreas, a combinação de ar, água e sais em intervalos cíclicos, somada a processos físicos de abrasão, aumentam a agressividade.

FIGURA 1 – Estruturas de concreto em contato com o mar têm maior vulnerabilidade nas zonas de variação de maré



Fonte: Revista Técnica n° 196(2013, p. 41)

2.1 Principais manifestações patológicas

2.1.1 Trincas e fissuras

Um dos problemas encontrados com grande incidência nas construções é a fissuração em estruturas de concreto armado, podendo ser originado pela má concepção do projeto, da execução da estrutura, por falha dos materiais empregados na concretagem ou por mau uso da estrutura. Essas fissuras podem surgir após anos, semanas ou mesmo em algumas horas do término da concretagem.

A norma DNIT 083 (2006, ES) as caracteriza como sendo fraturas lineares do concreto que podem se desenvolver parcial ou completamente ao longo de um elemento estrutural. A única diferença entre elas é que as fissuras apresentam aberturas menores.

Após a sua manifestação e evolução, as fissuras podem apresentar aberturas que variam ao longo do tempo, conhecidas como fissuras ativas ou evolutivas ou apresentarem-se estabilizadas, são as chamadas fissuras inativas ou estáveis. Este dado é fundamental para a definição do tratamento que a fissura vai receber (ANGELO,2004).

Além da aparência antiestética e a impressão de pouca estabilidade que apresenta uma peça fissurada, os principais perigos decorrem da corrosão da armadura e penetração de agentes agressivos externos no concreto (ANGELO,2004).

As trincas e fissuras são fenômenos próprios e inevitáveis do concreto armado que por ser um material com baixa resistência à tração, fissurará sempre que as tensões trativas superarem sua resistência à tração. Elas podem se manifestar em cada uma das três fases do concreto: fase plástica, fase de endurecimento e fase de concreto endurecido (DNIT 083 - ES, 2006).

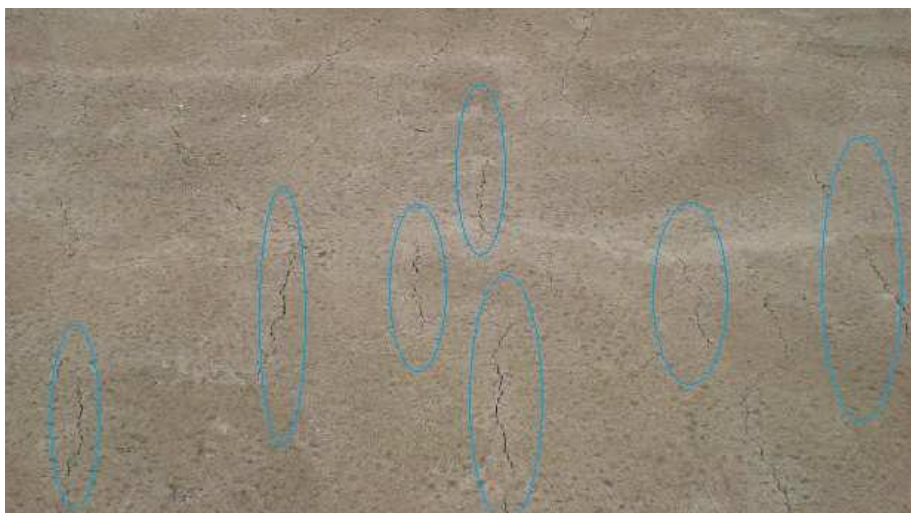
Na fase plástica podem surgir trincas em virtude da:

- Contração plástica do concreto

De acordo com Souza e Ripper (1998), este tipo de fissura pode ocorrer imediatamente após o lançamento do concreto devido à evaporação excessivamente rápida da água da superfície exposta do concreto não endurecido. Essa perda de água se dá pela exposição às intempéries como o vento, a baixa umidade relativa do ar e o aumento da temperatura ambiente, originando tensões que tracionam a peça de concreto, gerando variação volumétrica e fissuração.

Normalmente, são fissuras superficiais, paralelas entre si e fazendo ângulo de 45° com os cantos (FIG. 2). São mais comuns em superfícies extensas, como paredes e lajes.

FIGURA 2 – Formação de fissuras por contração plástica do concreto



Fonte: Aguiar (2011, apud SANTOS ,2012, p.21)

Este tipo de fissura pode ser eliminada da superfície antes do início de pega do cimento, com a ajuda de um vibrador mecânico de imersão. Já a prevenção pode ser feita com a molhagem prévia das formas e dos agregados, com o início da cura úmida logo após o

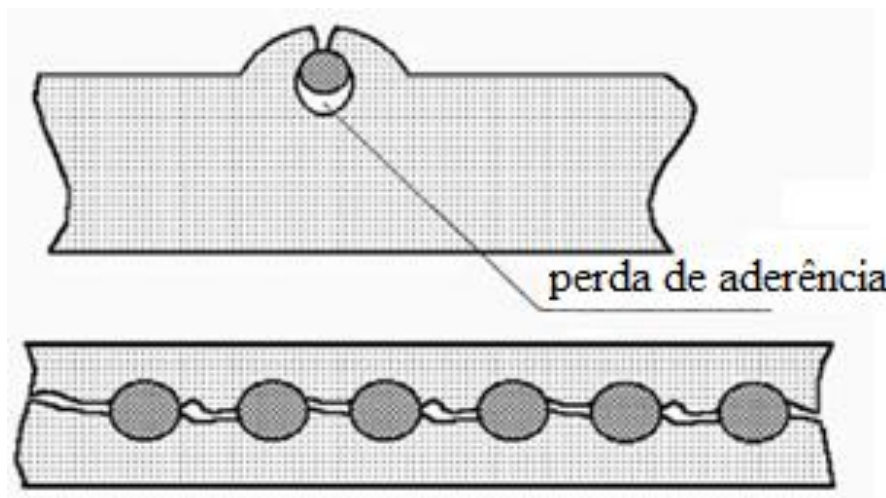
acabamento da peça, uso de quebra-ventos ou outros procedimentos que reduzam a evaporação superficial.

- Assentamento do concreto / Perda de aderência das barras da armadura

A fissuração por assentamento do concreto ocorre sempre que o movimento natural da massa, resultante da ação da força da gravidade, é impedido pela presença das barras da armadura, sendo tanto maior quanto mais espessa for a camada de concreto.

As fissuras formadas pelo assentamento do concreto acompanham o desenvolvimento das armaduras e provocam a formação de um vazio por baixo da barra (FIG. 3), que reduz a aderência desta ao concreto. São consideradas as mais nocivas, pois facilitam, bem mais que as ortogonais, o acesso direto dos agentes agressores, facilitando a corrosão das armaduras (SOUZA e RIPPER, 1998).

FIGURA 3 - Formação de fissuras por assentamento plástico do concreto



Fonte: Souza e Ripper (1998 p.62)

A prevenção de fissuras devido ao assentamento plástico inicia-se pela correta dosagem do concreto: diminuir a quantidade de água e utilizar cimento e agregados mais finos. Recomenda-se o uso de aditivos plastificantes que aumentam a trabalhabilidade, permitindo a redução do consumo de água e minimizando a exsudação. Outra medida importante é evitar o uso prolongado do vibrador, pois além de sedimentar os elementos da mistura, pode criar um vazio ao redor da armadura, eliminando a aderência.

- Retração de origem térmica

Segundo Hasparyk *et al.* (2005, *apud* SANTOS, 2012), após o lançamento do concreto fresco, iniciam-se as reações de hidratação do cimento, as quais são exotérmicas, ou seja, liberam grande quantidade de calor. Esse calor eleva consideravelmente a temperatura do concreto fresco durante as primeiras horas, porém, devido à interação com as condições climáticas do ambiente, a temperatura do concreto fresco sofre grande redução e seu volume diminui, isto é, a peça se contrai, originando tensões térmicas que irão tracioná-la, ocasionando fissuração de origem térmica, uma vez que o movimento da estrutura está restringido pela base.

Como a temperatura no interior do concreto fresco é alta, devido às reações de hidratação do cimento, ressalta-se que, se a temperatura externa também for elevada, maior será a degradação à qual a estrutura estará sujeita, pois quanto maior for a variação da temperatura do concreto, maiores serão as trações térmicas que irão tracionar a peça. Por conseguinte, maior será o esforço exercido pela base para restringir a expansão da peça e, naturalmente, maior será a fissuração no concreto armado. Dessa forma, Santos (2012) explica que é melhor executar a concretagem à noite, visto que a variação da temperatura no concreto no período noturno é inferior à variação diurna, o que implica uma menor possibilidade de haver fissuração.

Para minimizar os efeitos da retração térmica, algumas medidas preventivas podem ser adotadas, tais como:

- De preferência, adotar cimentos com baixo calor de hidratação, com menor teor de C_3A (Aluminato tricálcico), ou ainda cimento CP-IV (cimento Portland pozolânico), visto que a adição de pozolana também reduz o calor de hidratação do cimento;
- Uso de agregados graúdos com maiores dimensões para minimizar o consumo de cimento;
- Uso de aditivos redutores de água para reduzir o consumo de cimento e consequentemente, diminuir o calor liberado na sua hidratação;
- Adição de sílica ativa no concreto, material pozolânico com alto teor de SiO_2 (> 85%). Além de reduzir o calor de hidratação do cimento, este material reduza porosidade e a permeabilidade, além de melhorar a aderência pasta/agregado, aumentando assim, a durabilidade, a resistência mecânica e também a resistência à abrasão, além de restringir a lixiviação.

Na fase de endurecimento, as fissuras acontecem em virtude de restrições à precoce movimentação térmica e ao assentamento diferencial dos apoios. Na fase de concreto

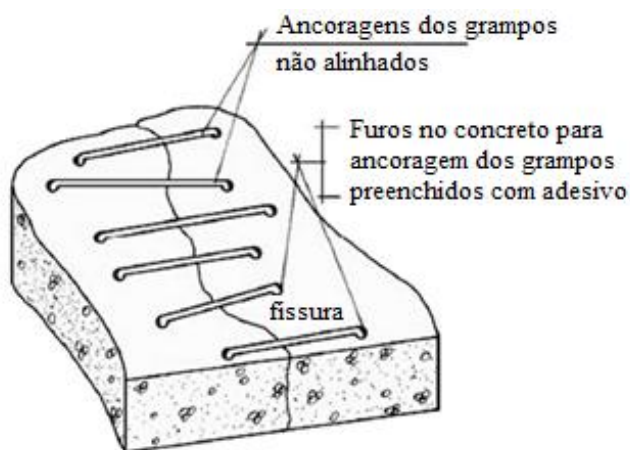
endurecido, as principais razões do aparecimento das trincas e fissuras são o subdimensionamento, o detalhamento inadequado, a construção sem os cuidados indispensáveis, às cargas excessivas, o ataque de sulfatos ao cimento do concreto, a corrosão das armaduras devida ao ataque de cloretos, a carbonatação e a reação álcali- agregado.

2.1.1.2 Técnicas de Restauração das Fissuras

Injeções com epóxi constituem um método eficiente para reparo de trincas e fissuras por ser um produto sem retração, de baixa viscosidade, alta capacidade resistente e de aderência, evita penetração dos agentes agressivos, recupera o monolitismo do elemento estrutural, além de ter um endurecimento muito rápido.

Em casos mais graves, como as fissuras ativas e em que o desenvolvimento delas acontece por deficiências na capacidade resistente, é conveniente a disposição de armadura adicional, de forma a resistir ao esforço de tração extra que provocou a fendilhação. Em função do seu aspecto e de seu propósito, estas armaduras são chamadas grampos, sendo este o processo conhecido como costura das fendas (FIG. 4).

FIGURA 4 - Reparo de uma fissura pelo método de costura



Fonte: Souza e Ripper (1998, p. 126)

2.1.2 Desgaste superficial por abrasão, erosão

Quando se refere ao desgaste dos concretos, os mecanismos mais relatados como responsáveis por tais fenômenos são a abrasão, erosão e cavitação.

A abrasão é o processo que causa perda da massa do concreto por esfregamento, enrolamento, escorregamento ou fricção constante em ambiente seco, procedendo no rompimento ou arrancamento dos grãos dos agregados. Logo, a resistência à abrasão é uma característica importante nas superfícies sujeitas à movimentação de cargas e integralmente relacionada à sua resistência superficial, dureza e resistência à compressão, propriedades que, por sua vez, dependem da qualidade da pasta de cimento e das características dos agregados (SANTOS, 2012).

O início do desgaste por abrasão se dá pelo mecanismo de fricção ou atrito a seco e é provocado pelo tráfego de pessoas, veículos, bem como por impacto ou até mesmo pela ação do vento, resultando perda de material e geração de pó. Esse tipo de desgaste pode ser severo em pisos industriais, onde a ação de rodas de aço ou de borracha rígida de veículos é extremamente crítica, ou em pavimentos rodoviários e calçadas.

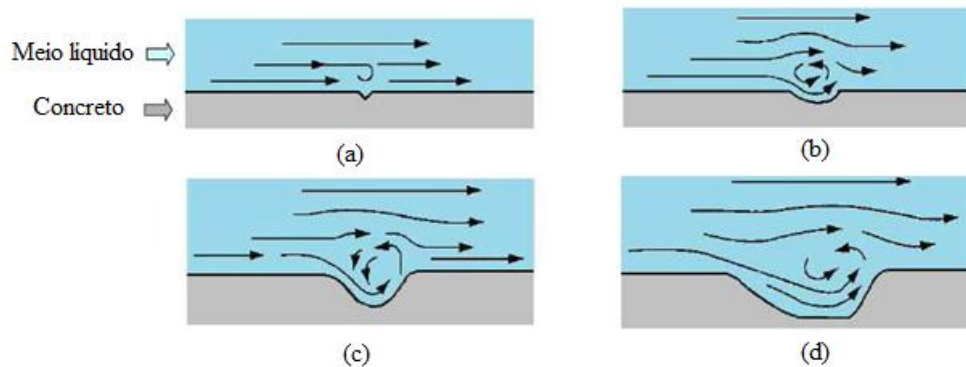
Para melhorar a resistência à abrasão das superfícies de concreto, aconselha-se evitar, ao máximo, a exsudação e a segregação do concreto, através das seguintes práticas:

- Cuidado no lançamento do concreto, para evitar segregação;
- Garantir a qualidade, coesão e maior envolvimento dos agregados pela pasta de cimento;
- Adotar uma dosagem dos materiais bem proporcionada e utilizando o abatimento, também conhecido como Slump Test, o mais baixo possível (desde que não prejudique o lançamento e acabamento do concreto);
- Evitar excesso de vibração, que também resulta em segregação;
- Respeitar o tempo de cura do concreto para garantir a máxima hidratação do cimento na superfície, potencializando a dureza e a resistência superficial do concreto.

Já o desgaste por erosão também acontece por atrito, porém em ambiente molhado. Este mecanismo de deterioração é proveniente da ação da água em movimento (FIG.5), que arrasta partículas sólidas em suspensão, como: areia, cascalho, pedras e outros objetos, os quais se colidem contra a superfície do concreto, originando o desgaste por colisão, escorregamento ou rolagem (ANDRADE, 2005 *apud* SANTOS, 2012).

As estruturas de concreto usualmente sujeitas à deterioração por erosão são: galerias de águas pluviais, barragens, calhas de vertedouros, canais de irrigação, pilares de pontes, entre outros.

FIGURA 5 - Evolução do desgaste superficial por erosão



Fonte: Santos (2012, p. 16)

Santos (2012) recomenda que para se obter um concreto resistente à erosão, deve-se empregar agregados de diâmetros máximos e de elevada dureza, além de utilizar pasta de cimento de baixo fator a/c.

Outra forma existente de desgaste superficial é a que incide por cavitação. Trata-se da degradação da superfície do concreto originada pela ruptura de bolhas de vapor de água quando a velocidade ou direção do escoamento sofre uma mudança brusca.

A implosão ou colapso das bolhas de vapor ocorre quando as mesmas, formadas em região de baixa pressão do fluxo de água, se movimentam para regiões de alta pressão no interior do fluxo. Quando as bolhas implodem ou colapsam perto ou contra a superfície do concreto, é gerada uma pressão bem elevada em uma pequena área. A sucessão dos impactos de alta energia tem a capacidade de provocar um desgaste da superfície do concreto, dando-lhe uma feição irregular e corroída (LAPA, 2008).

As estruturas de concreto sujeitas à cavitação são aquelas que estão em contato com fluxos de água com velocidade elevada, nas quais há uma severa mudança de direção do escoamento, tais como vertedouros, bacias de dissipação e condutos forçados.

O desgaste por cavitação pode ser minimizado mediante o uso de concretos dosados para tal solicitação. Porém, as medidas mais eficazes seriam aquelas que visam reduzir ou eliminar, na medida do possível, as causas que geram a cavitação, tais como as mudanças bruscas de declividade e as irregularidades na superfície.

2.1.3 Ação do Fogo

Mesmo as estruturas de concreto armado possuem excelente resistência ao fogo, com o tempo de exposição, o processo de degradação é inevitável e crescente, ocorrendo perda da capacidade resistente e redução da rigidez dos elementos da estrutura, devido à degradação simultânea do concreto e do aço (ANDRADE, 2005 *apud* SANTOS, 2012).

Embora a ação do fogo não se propague facilmente para o interior da massa do concreto, quando a estrutura é submetida a altas temperaturas por um certo período de tempo, pode-se verificar alteração na coloração do concreto, esfarelamento superficial, fissuração e uma perda significativa da resistência do concreto, conforme TABELA 1, podendo até acarretar na desintegração da estrutura.

TABELA 1 - Efeito da elevação da temperatura na resistência mecânica do concreto

Temperatura (°C)	Tração (%)	Compressão (%)
100	100	100
200	70	85
300	40	75
500	20	50
800	5	20

Fonte: Bauer (2008, *apud* SANTOS, 2012, p.29)

De acordo com Aguiar (2006, *apud* SANTOS, 2012), o comportamento dos componentes do concreto armado em situação de incêndio pode ser descrito da seguinte forma:

- A 100°C: resistência mecânica da peça de concreto permanece inalterada;
- Entre 100°C e 200°C: água livre começa a evaporar, assim como uma parte da água adsorvida (ligada fisicamente), o que implica uma ligeira retração da peça, gerando microfissuras. A resistência mecânica do aço permanece inalterada, já a do concreto reduz pouco (15%) em relação ao valor inicial;
- Entre 200 °C e 300 °C: término da evaporação da água capilar, já a água adsorvida continua evaporando. A resistência mecânica do aço não sofre alteração, já a do concreto reduz cerca de 25 % em relação ao valor inicial;
- Entre 300 °C e 400 °C: perda da água adsorvida (água ligada fisicamente ou água de gelo do cimento) é completa, aparecendo as primeiras fissuras na matriz do concreto. A resistência mecânica sofre uma ligeira redução;

- A 400°C: o aço começa a perder sua resistência mecânica e a aderência aço-concreto reduz consideravelmente. Inicia-se a perda da água ligada quimicamente (água de constituição do hidróxido de cálcio), devido à decomposição do hidróxido de cálcio, produzindo óxido de cálcio + água vaporizada, trata-se da calcinação do cimento.
- A 500°C: ruptura / colapso do aço, e a resistência à compressão do concreto é em torno de 50% da resistência inicial;
- A 535°C: calcinação (desidratação dos hidróxidos de cálcio) é completa;
- A 573°C: agregados silicosos (granito, arenito e gnaisse) sofrem expansão térmica. No caso dos agregados calcáreos, a dilatação térmica ocorre por volta de 650°C. Em ambos os casos, os agregados se expandem até sua fragmentação, dando início à desagregação do concreto;
- A 800°C: resistência à compressão do concreto reduz para 20% do valor inicial.

Durante o incêndio, a estrutura absorve calor, o que gera expansão térmica. Ocorre então uma expansão diferenciada entre a massa de concreto e o aço, prejudicando a aderência e originando tensões internas que levam o concreto a se desagregar, expondo a armadura diretamente à ação do fogo (SOUZA e RIPPER, 1998).

Dentre as medidas minimizadoras da ação do fogo sobre uma estrutura de concreto, podem ser recomendadas:

- Maior espessura do cobrimento: espessura de 3 cm de cobrimento de concreto protege armadura por menos de 2 horas. O melhor seria uma espessura de 5 cm de cobrimento, o que protegeria a armadura durante um intervalo de tempo de 3 a 4 horas. O gesso também é uma excelente proteção para o concreto, já que uma camada de gesso de 3 cm de espessura garante uma proteção adicional de 4 horas (BAUER, 2008 *apud* SANTOS, 2012);
- Utilização de aços resistentes ao fogo, os quais, a 600°C, ainda mantém 75% de sua resistência mecânica inicial (MARCELLI, 2007).

2.1.4. Corrosão da Armadura

A corrosão das armaduras é um dos problemas mais críticos das estruturas de concreto armado e caracteriza-se por ser um processo físico-químico gerador de óxidos e hidróxidos de ferro, denominados de produtos de corrosão, que ocupam um volume significativamente superior ao volume original das barras metálicas.

De acordo com Marcelli (2007), o processo da corrosão no aço pode ocorrer basicamente de duas formas. A primeira está relacionada com a corrosão de caráter puramente químico, chamada oxidação. Tal reação ocorre por uma reação gás/sólido na superfície do material, caracterizada pela formação de um filme delgado de produtos de corrosão na superfície do aço. A segunda forma de corrosão é chamada de corrosão eletroquímica, o tipo de degradação verificada em estruturas de concreto armado. Esse fenômeno de natureza expansiva pode conduzir ao aparecimento de elevadas tensões de tração no concreto, ocasionando a fissuração e o posterior lascamento do cobrimento do material (FIG. 6). Todos esses fatores causam uma perda de seção transversal e de aderência entre a armadura e o concreto, incapacitando a transferência de tensões entre os materiais, podendo levar o elemento estrutural ao colapso.

FIGURA 6 – Concreto visivelmente corroído, deixando a armadura exposta



Fonte: Amorim (2010, p. 32 e 55)

A armadura no interior do concreto encontra-se protegida da corrosão devido à alta alcalinidade deste material (pH entre 12,7 e 13,8). Este nível de pH favorece o desenvolvimento de uma camada de óxido submicroscópica passivante, compacta e aderente sobre a superfície da armadura. Esta camada protege a mesma de qualquer sinal de corrosão, desde que se mantenham estáveis às condições de potencial e pH. No entanto, esta passividade pode ser extinguida pela carbonatação do concreto ou pela entrada de íons agressivos, tais como os íons cloretos.

Além do rompimento da camada passivadora da armadura, Torres (2011) enfatiza que para ocorrer a corrosão é necessário que:

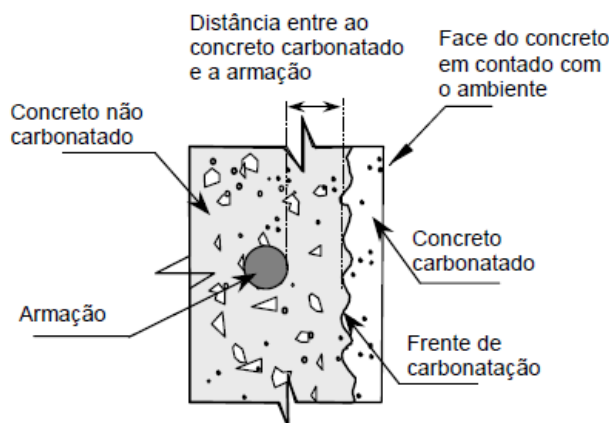
- Tenha uma diferença de potencial entre dois pontos da armadura, possibilitando o fluxo de elétrons;
- O concreto esteja úmido garantindo a existência de um eletrólito;
- O oxigênio esteja presente, possibilitando a reação catódica.

2.1.4.1 Carbonatação

Denomina-se carbonatação um dos mecanismos de alterações químicas do concreto que está relacionado à redução e/ou à perda da capacidade de proteger os aços. A carbonatação é a transformação do hidróxido de cálcio (Ca(OH)_2) em carbonato de cálcio (CaCO_3), na presença do dióxido de carbono (CO_2). Nessa reação química, a alcalinidade do concreto é reduzida do pH acima de 12 para valores até próximos de 8,5, colocando o aço das armaduras em situação vulnerável à corrosão (ANGELO, 2004).

A região limite entre o concreto carbonatado e o não carbonatado é denominada de frente de carbonatação (FIG. 7). A carbonatação sempre se processa da região externa da seção de concreto em direção ao seu interior. Quando a frente de carbonatação alcança a armação, são necessárias providências para impedir que o processo de corrosão se instale, já que a armação encontra-se desprotegida ou despассивada, ou seja, sujeita à oxidação

FIGURA 7 – Esquema de um concreto carbonatado

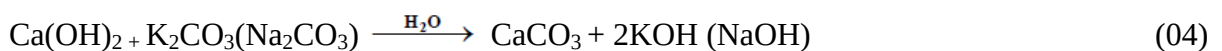
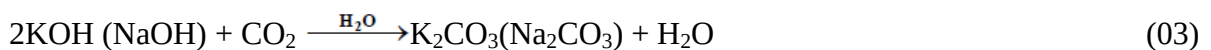


Fonte: Angelo (2004, p.43)

A grande incidência de patologias que têm como causa a carbonatação e o processo de corrosão das armações, em países como o Brasil, deve-se às condições de clima quente e

úmido, presentes em países tropicais, onde estão sintetizadas as condições ideais para desenvolver, com bastante rapidez, a cinética dessas deteriorações.

Segundo Angelo (2004) todo processo de carbonatação é iniciado quando o dióxido de carbono, presente na atmosfera, combina-se à água, produzindo o ácido carbônico (H_2CO_3), conforme na equação 1. O ácido carbônico reage preferencialmente, com o hidróxido de cálcio presente na pasta de cimento (EQ.2), mas também pode reagir com outras bases do composto hidratado, como os álcalis, aluminatos e silicatos de cálcio, (EQ. 3 e 4). Quanto maior a quantidade de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ presente na pasta hidratada, menor será a resistência química, pois o hidróxido de cálcio é facilmente solúvel em soluções ácidas.



A carbonatação provoca, no concreto, uma redução da porosidade/permeabilidade superficial, aumento no peso da massa e um pequeno aumento da retração volumétrica. A reação de carbonatação também reduz a capacidade de formação da película de ferrato de cálcio, importante na proteção das armaduras contra a corrosão (FIG. 8).

FIGURA 8 – Carbonatação do concreto



Fonte: Brito e Pereira Júnior (2012, p. 23)

A velocidade e a profundidade de carbonatação dependem de fatores relacionados com o meio ambiente e com as características finais do concreto endurecido, conforme apresentado no QUADRO 2.

QUADRO 2 – Fatores que influenciam a velocidade e profundidade de carbonatação

FATORES CONDICIONANTES		CARACTERÍSTICAS INFLUENCIADAS
Fatores ambientais ou condições de exposição	Concentração de CO ₂	Mecanismo físico-químico Velocidade de carbonatação
	Umidade relativa do ar	Grau de saturação dos poros Velocidade de carbonatação
Características do concreto	Tipo e quantidade de cimento	Reserva alcalina
	Relação água/cimento	Porosidade e permeabilidade
	Condições de cura Fissuras	Grau de hidratação, porosidade, permeabilidade e fissuração Facilita entrada de CO ₂

Fonte: Santos (2012, p.49)

Em relação às características do concreto, medidas podem ser tomadas a fim de evitar o processo de carbonatação, tais como:

- Optar por concretos puros, uma vez que concretos com adição, por exemplo, de pozolanas e escórias, diminuem o teor de álcalis da pasta de cimento, logo, maior será a velocidade de penetração da frente de carbonatação;
- Quanto maior a relação a/c, maior será a porosidade e a permeabilidade de um concreto, e consequentemente, mais facilmente o CO₂ poderá difundir-se através do mesmo, portanto, recomenda-se diminuir a relação a/c;
- Sabe-se que, a carbonatação diminui com o aumento da resistência mecânica do concreto. Segundo Santos (2012), a profundidade de carbonatação em um concreto de 40 MPa será de 5 mm aos 4 anos, e 10 mm aos 16 anos. Entretanto, em um concreto de 20 MPa, será de 5 mm no período de 1,5 anos, e 10 mm aos 2 anos.
- A cura tem grande influência na velocidade de carbonatação, sendo que uma cura malfeita gera fissuras e facilita a entrada de CO₂, aumentando, desta maneira, a profundidade de carbonatação. Portanto, quanto maior o tempo de cura e mais eficiente for o método empregado, maior será o grau de hidratação do cimento, menor será a porosidade e a permeabilidade e por consequência, menor será a carbonatação.

FIGURA 10 – Pilar sobre o mar, após 10 anos de construção, deteriorado por carbonatação e cloretos



Fonte: Santos (2012, p. 71)

Conforme o professor da UFPR, José de Freitas Jr. uma medida a ser tomada a fim de evitar o ataque de íons cloretos seria a utilização de concretos menos porosos e com fck maior. Outra alternativa seria a incorporação de fibras poliméricas ao concreto para absorver as tensões de retração e minorar a fissuração ou aplicar revestimentos especiais que impedem o contato direto do ambiente agressivo com o concreto. Uma cura adequada garante a correta hidratação do cimento, permitindo a formação de compostos benéficos, os quais darão as características de resistência e durabilidade das estruturas, gerando maior resistência aos agentes nocivos.

2.1.4.3 Técnicas de Restauração de Corrosão das Armaduras

A recuperação deste tipo de fenômeno patológico depende das condições locais, da natureza e grandeza dos serviços a serem executados. É delicada e requer mão de obra especializada. Segundo Lapa (2008), deve abranger as seguintes etapas:

- Definir a área a ser tratada;
- Remover todo o concreto contaminado em redor da armadura corroída, limpando a superfície, com jato d'água ou ferramentas manuais. A remoção deve deixar um espaço livre, entre a armadura e o concreto de pelo menos 2 cm ;

- Limpar cuidadosamente as barras oxidadas, com escova de aço para pequenas áreas ou jato d'água e ar para grandes áreas, de forma a ficarem totalmente isenta de óleos, graxas e partes corroídas;
- Examinar cuidadosamente as barras corroídas e já limpas, para avaliação da perda da sua capacidade resistente. Se a perda for superior a 10%as barras devem ser suplementadas;
- Após a remoção de todos os detritos, a armadura tratada e a suplementar, se esta for necessária, devem ser pintadas com tinta especial antiferruginosa.

Após o correto tratamento da superfície do concreto, a limpeza e os reparos nas ferragens, então pode-se restaurar o elemento estrutural, usando-se um dos procedimentos especificados a seguir:

- Concreto projetado: é uma solução eficiente, que dispensa o uso de adesivo estrutural em função de ter boa aderência e não requer formas. No entanto, apresenta custo elevado e muita perda de material devido à reflexão, não sendo indicado para pequenos reparos;
- Adesivos à base de epóxi: são colas à base de epóxi com alto poder de aderir o concreto velho ao novo, além de ser uma eficiente barreira de proteção contra ataques de agentes agressivos. Porém, requer forma e nem sempre apresenta um resultado estético satisfatório, pois geralmente acarreta seções finais maiores que as iniciais;
- Argamassas poliméricas: são argamassas à base de metil-metacrilato ou epóxi e apresentam as vantagens de fácil moldagem, apesar de necessitar de forma, têm boa aderência e resultado estético satisfatório. Entretanto, requerem mão de obra especializada e geralmente são caras;
- Restauro com Graute: esses produtos são eficientes por serem autoaderentes, não apresentam retração e serem fáceis de aplicar, porém, necessitam de formas;
- Concreto Comum: é uma solução de baixo custo, mas que exige formas e alto conhecimento na tecnologia de preparo do concreto, uma vez que para ser eficiente deverá ser bem dosado e bem preparado, com baixa relação água/cimento e aplicado com eficiência técnica. Seu uso é recomendado quando se necessita preencher volumes grandes e o concreto projetado não se mostra adequado. Nesses casos, o emprego de argamassas poliméricas ou graute resultam em custos elevados.

2.1.4.4 Monitoramento do processo de corrosão

No exterior, sensores são amplamente usados em sistemas de monitoração permanente do risco de corrosão em estruturas de concreto. O mesmo não ocorre no Brasil, sendo esses equipamentos pouco conhecidos e utilizados, devido à restrição de tecnologia nacional e de pessoal qualificado.

O monitoramento das estruturas de concreto armado possibilita que o risco de corrosão seja estimado ao longo dos anos de sua utilização. Com o conhecimento desse risco, intervenções de prevenção da corrosão ou de controle da corrosão já estabelecida podem ser programadas e realizadas em períodos adequados. Isso reflete positivamente na vida útil e nos custos totais da construção, além de acarretar no aumento do período de conservação do seu aspecto estético original

Na prática, o risco de corrosão é avaliado por meio da verificação periódica do estado da armadura e das alterações nas propriedades do concreto. Isso pode ser feito por meio do embutimento de sensores de aquisição contínua de dados no concreto de cobrimento. No caso da corrosão, segundo Araújo (2014), esta é detectada pelos sensores quando 5 % da estrutura está deteriorada, enquanto que em inspeções tradicionais essa porcentagem seria de 25 %.

Os sensores são usados para o monitoramento do risco de corrosão tanto em estruturas novas como em estruturas existentes. Em estruturas novas, os sensores são posicionados sobre as armaduras antes da concretagem (FIG. 11). Em estruturas existentes são introduzidos em furos realizados ao longo da espessura do concreto de cobrimento da armadura. O monitoramento do risco de corrosão pode ser feito em estruturas atmosféricas, enterradas ou submersas.

FIGURA 11 - Sensores posicionados sobre a armadura



Fonte: Revista Técnica nº 194 (2013, p. 65)

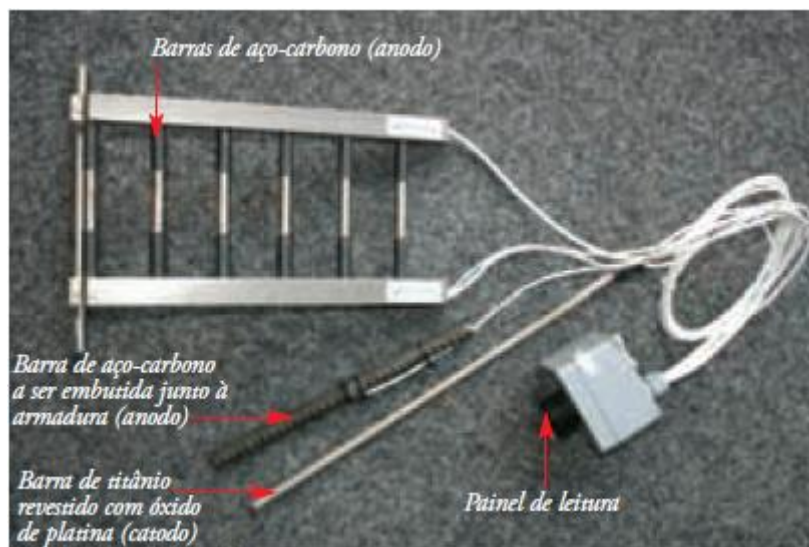
Fonte: Revista Técnica nº 195 (2013, p. 64)

Nos sensores, os dados podem ser obtidos por meio de leituras feitas manualmente ou por meio de sistema eletrônico. No primeiro caso, as leituras são feitas em campo, diretamente nos sensores cujos terminais são conectados a um painel individual ou a um painel central. No segundo caso, as leituras são feitas automaticamente e armazenadas eletronicamente (*softwaree hardware*), tendo-se um gerenciamento contínuo dos dados. As leituras podem ainda ser disponibilizadas por meio de sistema de transmissão remota de dados, o que permite o monitoramento da estrutura em tempo real.

Há diferentes tipos de sensores de aquisição contínua de dados. Um dos mais conhecidos é o sensor galvânico, composto por um conjunto de barras de aço-carbono, eletricamente isoladas. Com o embutimento do sensor, essas barras ficam posicionadas em diferentes e conhecidas profundidades do concreto de cobertura da armadura. O risco de corrosão da armadura é monitorado com a periódica medição da corrente galvânica em cada uma das barras do sensor.

Além do sensor galvânico, destacam-se o sensor de fibra óptica, sensor de umidade e o de taxa de corrosão, que monitoram parâmetros importantes que estão relacionados ao estabelecimento e evolução do processo corrosivo das armaduras.

FIGURA 12 - Sensor escada



Fonte: Revista Técnica nº 194 (2013, p.63)

FIGURA 13 - Sensor de anéis expansivos



Fonte: Revista Técnica nº 194 (2013, p.63)

FIGURA 14 - Sensor de umidade, denominado de sensor de múltiplos anéis



Fonte: Revista Técnica n° 195(2013, p.63)

Resultadas de imperícias e negligências, são frequentes as manifestações dessas patologias em obras de estruturas de concreto armado, que em casos mais graves, podem gerar graves acidentes estruturais.

A TABELA 2, lista os acidentes estruturais mais lembrados ocorridos nas últimas décadas, totalizando dezenas de vítimas fatais e muitos feridos, além de transtornos operacionais e grandes prejuízos financeiros.

TABELA 2 – Resumo dos principais acidentes estruturais ocorridos no Brasil

Ano	Obra	Estado	Cidade	Provável origem do problema	Vítimas Fatais
1995	Edifício Atlântico	PR	Guaratuba	Falha na Execução da estrutura	28
1997	Edifício Itália	SP	São José do Rio Preto	Falhas de projeto	0
1998	Edifício Palace II	RJ	Rio de Janeiro	Falhas de projeto	9
1999	Edifícios Éricka e Enseada de Serrambi	PE	Olinda	Falhas de projeto	4
2004	Areia Branca	PE	Recife	Falha na execução da obra	4
2006	Marquise da UEL	PR	Londrina	Falhas no projeto	2
2006	Obra na UERJ	RJ	Rio de Janeiro	Desconhecidas	0
2007	Obra do metrô de SP	SP	São Paulo	Falha de gerenciamento: projeto + medidas de recalque	7
2008	Complexo Esportivo	RS	Novo Hamburgo	Falha de projeto	3
2008	Edifício Dom Gerônimo	PR	Maringá	Falha estrutural de uma sacada que desabou e levou as inferiores em efeito dominó	0
2009	Edifício Santa Fé	RS	Capão da Canoa	Falhas de execução	4
2009	Igreja Renascer	SP	São Paulo	Falha de projeto	7
2010	Prédio antigo	RJ	Rio de Janeiro	Falha de manutenção	4
2011	Prédio de pequeno porte	RJ	Nova Friburgo	Desconhecidas	3
2011	Prédio - Real Class	PA	Belém	Desconhecidas	3
2012*	Edifício Liberdade - acarretou o desabamento de mais duas edificações vizinhas	RJ	Rio de Janeiro	Reforma irregular: derrubaram elementos estruturais do prédio	22
2013*	Prédio de um Magazine	SP	São Paulo	Execução em desconformidade com o projeto	10
2014*	Obra do Viaduto Guararapes	MG	Belo Horizonte	Falha de projeto	2

Fonte: Técnica nº 174 (2011, p. 76) * Adaptado pela autora

Os erros mais frequentes observados nesses acidentes estruturais concentram-se em falhas humanas durante as fases de projeto e execução: basicamente na má avaliação dos carregamentos, em detalhamentos errados ou ineficientes, na deficiência e falta de controle de

qualidade durante a execução, em sobrecargas excessivas não previstas e na falta de um programa adequado de inspeção e manutenção das obras já concluídas.

Diante do exposto, é necessário que sejam feitas inspeções rotineiras nas estruturas de concreto armado. Tal atividade tem como objetivo avaliar o estado de conservação de estruturas de concreto, fornecendo diretrizes para uma manutenção eficaz e de custo-benefício adequado. Com ambas as práticas, podem ser cumpridas as funções para as quais a estrutura foi construída e possivelmente ser estendida sua vida útil.

Em geral, a inspeção rotineira limita-se à avaliação da integridade da estrutura e o seu estado frente a condições ambientais e de utilização. Outros propósitos da avaliação seriam viabilizar ampliação da estrutura ou mudança de uso, e capacitar a estrutura para suportar carga adicional ou para resistir a danos estruturais (acidentes ou má utilização).

A atividade de inspeção faz uso de diferentes técnicas, sendo a principal delas o exame visual detalhado da estrutura. Com base na intensidade e gravidade das manifestações patológicas observadas neste exame, acrescido do conhecimento da agressividade ambiental e das características e do uso das estruturas, outras técnicas são aplicadas.

A frequência da inspeção depende da exposição ambiental e da presença de contaminantes, bem como da localidade geográfica, condições de uso e idade da estrutura. Também pode ser definida por normalização ou órgão local.

3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diversas obras de edificações e de infraestrutura em concreto armado são executadas em ambientes expostos a agentes agressivos, por isso, precisam de cuidados especiais em suas fases de projeto, construção e operação para que atendam às expectativas de desempenho e durabilidade.

Os problemas de deterioração da estrutura e de seus materiais componentes decorrem, em grande parte, de um projeto inadequado e de uma execução mal cuidada, deficiências que, lamentavelmente, ainda se constatarem serem comuns, provocando a ocorrência de falhas que fatalmente, resultam na necessidade de recuperação ou de reforço da estrutura (ou até mesmo, em casos extremos, de demolição). Tais falhas são ocasionadas por motivos diversos, como a inobservância de alguns pequenos detalhes, falta de conhecimento dos materiais de construção, pela limitação de custos e prazos, ou até mesmo por negligência, o que reflete no desconhecimento às normas pelos profissionais que lidam com o assunto e a falta de cuidados na elaboração e aplicação do concreto.

Quase sempre, o cumprimento às normas poderia evitar ou desacelerar consideravelmente, os mecanismos de degradação de estruturas. O cumprimento às normas é obrigatório, não só para atender ao Código de Defesa do Consumidor, mas também com a finalidade de orientar os profissionais para as melhores práticas, evitando assim, a ocorrência desses problemas.

É preciso mudar a percepção dos contratantes, os quais encaram as atividades de um profissional capacitado nesta área como um custo extra à obra e desconhecem os riscos assumidos com tal ato.

É preciso lembrar que o incentivo a avanços na área, assim como o reconhecimento destes engenheiros especialistas por toda a comunidade poderia mitigar e até evitar alguns acidentes que ocorreram nos últimos anos.

Cabe neste momento, a atuação mais precisa de órgãos competentes de fiscalização para a disseminação desta especialidade para a vistoria e acompanhamento na execução de obras de todos os portes.

A aplicação conjunta destes conceitos deverá evitar o aparecimento das manifestações que acontecem com frequência em edificações antigas e mesmo novas. As normas constituem-se, neste caso, como sinônimo de qualidade e economia, enquanto a falta de qualidade significa desperdício e custo extra.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMORIM, A.A..**Durabilidade das estruturas de concreto armado aparentes**. 2010. 74 f.Monografia(Especialização em Construção Civil) - Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2010.

ANGELO, V.M.A.. **Análise das patologias das estruturas em concreto armado do Estádio Magalhães Pinto – Mineirão**. 2004. 404 f.Tese(Doutorado) - Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2004.

ARAÚJO, Adriana *et al.* **Monitoramento da corrosão em estruturas de concreto**: sensor de umidade, de taxa de corrosão e de fibra óptica.Revista Técnica. São Paulo, n.195, p.62-65, jun.2013.

ARAÚJO, Adriana *et al.* **Monitoramento do processo de corrosão em estruturas de concreto**: sensor galvânico.Revista Técnica. São Paulo, n.194, p.62-66, mai.2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118**:Projeto de estruturas de concreto - Procedimento.Rio de Janeiro, 2003.

BAUER, L.A.F..**Materiais de Construção**: Novos materiais para construção civil.5.ed. Rio de Janeiro: LTC, 2008.

BERTOLINI, L.. **Materiais de Construção**: patologia, reabilitação, prevenção. São Paulo: Oficina de Textos, 2010.

BOTELHO,M.H.C.; MARCHETTI, O.. **Concreto armado eu te amo**. 7.ed.São Paulo: Blucher,2013.

BRITO, S.C.C.; PEREIRA JÚNIOR, C.W.. **Patologias recorrentes nas edificações da região metropolitana de Belém**: em diversas idades.2012. 107 f.Monografia(Obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil) - Escola de Engenharia, Universidade da Amazônia, Belém, 2012.

BUASZCZYK, Gisele. **Tratamentos superficiais contra a corrosão de armaduras em concreto armado**.2009. 44 f.Monografia(Especialização em Engenharia dos Materiais) - Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.

CORSINI, Rodnei. **Ambientes agressivos**: Projetos de estruturas de concreto expostas a ambientes quimicamente agressivos exigem atenção especial para assegurar desempenho e vida útil à edificação.Revista Técnica.São Paulo, n.196, p.36-41, jul.2013.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **DNIT 083/2006- ES:Tratamento de trincas e fissuras – Especificação de serviço**. Rio de Janeiro, 2006.

FUSCO, Péricles Brasiliense .**Tecnologia do concreto estrutural**: Tópicos aplicados. São Paulo: PINI,2008.

HELENE, Paulo *et al.* **Patologia das construções:** uma especialidade na engenharia civil. Revista Técnica. São Paulo, n.174, p.72-77, set.2011.

LAPA, S.J.. **Patologia, recuperação e reparo das estruturas de concreto armado.** 2008. 56 f. Monografia(Especialização em Construção Civil) - Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008.

MARCELLI, Maurício. **Sinistros na construção civil:** causas e soluções para danos e prejuízos em obras. São Paulo: PINI,2007.

PEDROSO, Fábio Luís. **Concreto:** as origens e a evolução do material construtivo mais usado pelo homem. Concreto e Construções. São Paulo, n.53, p. 14-19, jan. / mar. 2009.

SANTOS, R.G.M..**Deterioração das estruturas de concreto armado:** estudo de caso.2012. 109 f. Monografia (Especialização em Construção Civil) - Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2012.

SOUZA, Vicente Custódio Moreira de; RIPPER, Thomaz. **Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto.** São Paulo: PINI, 1998.

TORRES, S.A.. **Corrosão por cloretos em estruturas de concreto armado:** uma meta-análise.2011. 170 f.Monografia(Especialização em Engenharia dos Materiais) - Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.