

Doenças concretas

Conheça as principais causas de patologias de concreto provocadas por elementos químicos presentes no ar e na água

Por Heloisa Medeiros

Edição 160 - Julho/2010

As patologias por ataques químicos e ambientais às estruturas de concreto podem ter origem nas falhas de projeto, de execução, uso inadequado e falta de manutenção. As causas podem ser decorrentes de sobrecargas, impactos, abrasão, movimentação térmica, concentração de armaduras, retração hidráulica e térmica, alta relação água/cimento, exposição a ambientes marinhos, ação da água, excesso de vibração, falhas de concretagem e falta de proteção superficial, entre outros.



Corrosão de armaduras em subsolo de edifício por infiltração de água

Nesse campo, entram nos livros e manuais de engenharia os termos emprestados da medicina. Patologia, diagnóstico, prognóstico, profilaxia, terapia, enfim, descortina-se o vasto elenco das "doenças do concreto", que tantos prejuízos trazem aos bens públicos e privados. E a exemplo das doenças nos seres humanos, os ataques químicos e ambientais acontecem quando o concreto se torna vulnerável, com baixa resistência, geralmente pela alta porosidade, fissuração e insuficiente cobrimento de armaduras. É como se várias portas se abrissem para a entrada dos mais diversos agentes agressores, que apenas aproveitam a oportunidade para causar danos.

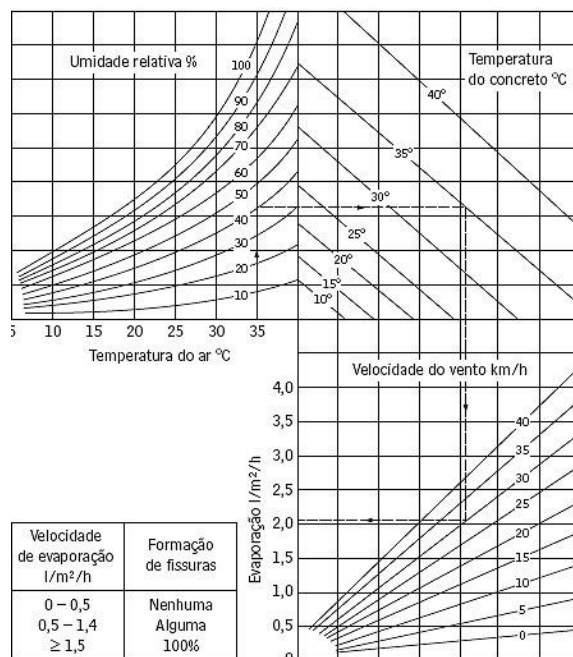
As agressões às estruturas de concreto podem ser físicas (variação de temperatura, umidade, ciclos de congelamento e degelo, ciclos de umedecimento e secagem); químicas (carbonatação, maresia ou água do mar, chuva ácida, corrosão, ataque de ácidos, águas brandas, resíduos industriais); e biológicas (micro-organismos, algas, solos e águas contaminadas). Entre as principais patologias por agentes químicos e ambientais estão a corrosão de armaduras, a carbonatação, ataque de sulfatos, de soluções ácidas e a ação de cloretos. Os sintomas dessas doenças são, em geral, as fissuras, eflorescências, desagregação,

lixiviação, manchas, expansão por sulfatos e reação álcalis-agregado. Tudo isso pode fazer com que o concreto perca sua capacidade de resistência, chegando à ruptura da estrutura. Por isso, existem classes de agressividade de ambientes que variam de I (rural, o menos problemático), II (urbano), III (marinho ou industrial) e IV (polos industriais, os mais agressivos). Essa classificação auxilia o projetista de estruturas a fazer o dimensionamento correto, especificar o cobrimento das armaduras e elaborar recomendações sobre traço do concreto, relação água/cimento, compacidade e outras características adequadas ao ambiente em que a obra estará inserida.

De acordo com Antônio Carmona Filho, especialista em concreto armado e patologias das estruturas, as obras mais vulneráveis aos ataques químicos e ambientais são as que se encontram em contato direto com a água do mar e as localizadas em ambientes industriais muito agressivos. "Isso provoca a corrosão das armaduras, conseqüente deslocamento do concreto, perda da durabilidade e da segurança estrutural", esclarece Carmona. Na sua opinião, a cobertura insuficiente das armaduras está em primeiro lugar no ranking das causas de patologias, seguida pelas falhas de execução, agressividade dos ambientes e falhas de projeto. Para o especialista em patologia de obras civis Cesar Henrique Daher, todas as estruturas de concreto estão sujeitas aos ataques químicos e ambientais. "Mas quanto maior for sua exposição a meios mais agressivos (maré, zonas industriais, poluição ambiental, sulfatos, contato intensivo com a umidade), maior a tendência de ocorrência de manifestações patológicas", explica. Segundo Daher, há uma distinção entre os termos causa e origem. "A causa está relacionada com os aspectos ou mecanismos que levam à manifestação patológica, que são as reações químicas, físicas ou o fenômeno causador da manifestação. Já a origem está relacionada às etapas de planejamento, projeto, definição dos materiais e suas proporções, execução, utilização e manutenção.



Infiltração de água em subsolo - Infiltração de água que acarreta a perda rápida da alcalinidade do concreto, favorecendo ataque de cloretos e corrosão das armaduras



Degradação das estruturas

As estruturas mais sujeitas aos ataques químicos diretos são as edificações industriais, principalmente as que produzem matérias-primas básicas como cloro, soda, celulose, fertilizantes, produtos petroquímicos, além de outras que manipulam produtos químicos agressivos, como fábricas de baterias, galvanoplastia, entre outras e das ETEs (estações de tratamento de esgotos domésticos e industriais).

Segundo Carlos Eduardo Granato, consultor e especialista em patologias das construções, nessas atmosferas industriais mais agressivas, o processo de corrosão se acelera entre 60 e 80 vezes, se comparado ao meio rural. Zonas industriais contaminadas por gases e cinzas, como o H₂S, SO₂ e NO_x, além de outros gases ácidos, contribuem para a redução da alcalinidade do concreto e aumentam a velocidade de carbonatação, destruindo a película passivadora que protege o aço.



Falha de concretagem/vibração do concreto -
Falha de concretagem, representada por má
vibração, aumenta a porosidade do concreto
e abre caminho para ataque do CO₂
atmosférico

Na orla marítima as condições também não são amigáveis para as estruturas de concreto assim como em cidades industriais, com elevado índice de poluição, como Cubatão (SP) e nos grandes centros populacionais, que sofrem com chuvas ácidas e CO₂. Além disso, em microclimas como garagens de edifícios e reservatórios de água clorada, os agentes agressivos também maltratam o concreto.

Granato explica que em atmosferas marinhas a velocidade de corrosão chega a ser 30 a 40 vezes superior à que ocorre em ambiente rural. Na obras localizadas rurais, uma eventual corrosão só será notada após oito anos. Já no litoral, sinais acentuados de corrosão podem aparecer em dois ou três meses e, algumas vezes, antes mesmo das obras serem concluídas.

Detalhes preventivos

Para o engenheiro Maurício Grochoski, especialista em patologias do concreto, o risco de apresentar problemas por ação ambiental está diretamente ligado ao ambiente ao qual está exposta a estrutura. "Mas é claro que algumas delas, principalmente as estruturas muito solicitadas, que sofrem impactos, por exemplo, podem apresentar fissuração excessiva, trincas, lascamentos, o que facilita o ataque do meio ambiente", acrescenta. Segundo ele, nesses casos, se manifestam as principais patologias, que são a corrosão das armaduras, o ataque por sulfatos, ácidos em geral, e a reação álcali-agregado (RAA)



Falha de concretagem - Falha de vibração do concreto acarreta porosidade, que facilita a penetração dos agentes agressivos da atmosfera, como CO₂, cloretos e sulfatos

Além disso, segundo Granato, a corrosão das armaduras é um dos mais importantes fenômenos patológicos, responsável por grande parte das manifestações. "A corrosão das armaduras se insere em uma área claramente interdisciplinar, onde a química, eletroquímica e cinética têm papel fundamental." Devido à complexa natureza dos efeitos ambientais sobre as estruturas, destaca Granato, a verdadeira melhora de desempenho das edificações não pode ser alcançada somente pela melhoria dos materiais utilizados, mas também pela técnica de execução, aperfeiçoamento dos projetos arquitetônicos e estruturais, procedimentos de fiscalização e manutenção, incluindo a manutenção preventiva.

CAUSAS DE PATOLOGIAS EM ESTRUTURAS DE CONCRETO EM ALGUNS PAÍSES

Causas dos problemas patológicos em estruturas de concreto				
Fontes de Pesquisa	Concepção e projeto	Materiais	Execução	Utilização e outras
Edward Grunau	44%	18%	28%	10%
D.E.Allen (Canadá)	55%	⇐ 49% ⇒		
CSTC (Bélgica)	46%	15%	22%	17%
CEB Boletim 157	50%	⇐ 40% ⇒		10%
FAAP – Verçoza (Brasil)	18%	6%	52%	24%
Breas (Reino Unido)	58%	12%	35%	11%
Bureau Securitas		⇐ 88% ⇒		12%
ENR (USA)	9%	6%	75%	10%
SIA (Suíça)	46%		44%	10%
Dov Kaminetzky	51%	⇐ 40% ⇒		16%
Jean Blévet (França)	35%		65%	
Lemit (Venezuela)	19%	5%	57%	

Obs.: As fontes: D. E. Allen (Canadá), B. R. E. A. S. (Reino Unido) e Dov Kaminetzky detectaram patologias em estruturas de concreto provenientes de mais de uma causa. Fonte: Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto – Vicente C. M. Souza e Thomaz Ripper.

Outro ponto fundamental é evitar o contato da água com a estrutura, grande inimiga do concreto. A maioria absoluta das patologias ocorre na presença de água, que pode ser a causa principal ou coadjuvante dos processos de degradação do concreto. Assim, afastar a água das estruturas, prevendo elementos como pingadeiras, chapins e rufos, pode ser a diferença entre o sucesso e o insucesso do ponto de vista da durabilidade da estrutura.

Para Grochoski, sempre existe uma conjunção de fatores quando se trata de patologias. No entanto, basta atentar para os cuidados básicos como especificar corretamente a espessura do revestimento, melhorar a qualidade do concreto e utilizar revestimentos, como as pinturas, por exemplo, que criam barreiras contra ataques do meio ambiente. Para Antônio Carmona, a importância do diagnóstico correto é fundamental para a solução definitiva do problema. "É preciso entender a origem dos danos, passando por uma inspeção preliminar, inspeção detalhada, execução de ensaios e a identificação do problema e suas causas.

Execução criteriosa

De acordo com Cesar Henrique Daher as fases relativas ao projeto e planejamento somam 44% das origens das manifestações patológicas das estruturas de concreto. Esses dados provêm de um estudo, apresentado por Helene e Figueiredo em 2003, que demonstra que a maior parte das origens das manifestações encontra-se no projeto da obra (40%), seguida pela execução (28%) e dos materiais (18%), enquanto as fases de uso e manutenção são responsáveis por 10% e, finalmente, a de falhas de projetos, e as de planejamento por 4%.

Se somadas as falhas de projeto, e as executivas ao emprego de materiais inadequados, alcança-se um nível de aproximadamente 90% das origens das manifestações. "Isso significa que uma grande parte dos problemas está na falta de compatibilidade entre o planejamento e o projeto, aliada a problemas executivos", diagnostica Daher.

Apesar dos avanços na construção civil brasileira, ainda há muitos problemas em relação à fase de execução, destaca Enio Pazini Figueiredo, professor da Universidade Federal de Goiás. "Embora o conhecimento científico atual seja bem maior, é impressionante a negligência humana na utilização do conhecimento disponível e consolidado."



Ataque em indústria têxtil - Pequeno revestimento do concreto expõe armaduras a produtos químicos ácidos usados para branquear tecidos em indústria têxtil. Ocorre exposição dos agregados pela lixiviação da pasta de cimento

Segundo Figueiredo, o aperfeiçoamento de técnicas de dimensionamento mais avançadas e, portanto, mais econômicas, também pode interferir na durabilidade. "Somando esses e outros fatores, pode-se chegar à conclusão de que as estruturas de concreto armado contemporâneas estão cada vez mais vulneráveis ao aparecimento de patologias", opina. No Brasil, de acordo com a maioria dos especialistas em estruturas de concreto, o controle da

execução deveria ser bem mais rigoroso, atentando para a qualidade da mão de obra, diferente do que ocorre na Europa, onde a atenção se volta para o controle rígido na etapa de projeto.

Poros e fissuras

A estrutura de concreto saudável proporciona dupla proteção às armaduras. A primeira por causa de sua alcalinidade, que age como capa passivadora para o aço. A outra é a massa do concreto, uma barreira física que separa o aço do contato direto com o meio ambiente agressivo. Por isso, a compacidade do concreto é uma propriedade importante para resistir à penetração dos agentes externos, minimizando processos como a carbonatação, ataque de cloretos e sulfatos, que causam a degradação da estrutura. A quantidade de matéria sólida contida em um determinado volume de concreto, ou a relação entre o volume sólido e o volume aparente total, define a compacidade, diretamente associada à relação água/cimento, que deve ser a mais baixa possível.

A cura é outro ponto crucial para um concreto saudável e resistente a ataques agressivos. "A cura, muitas vezes desprezada, é muito importante para a qualidade do concreto. Deve-se evitar mudanças drásticas de temperatura, como também a secagem prematura, promovendo a cura úmida", recomenda Granato. Por outro lado, uma temperatura baixa durante a concretagem (< 7oC) pode inibir as reações químicas de endurecimento do cimento e permitir a evaporação da água de mistura. No inverno, devido às baixas taxas de umidade relativa do ar, a evaporação da água pode se alta, tornando-se insuficiente para a reação química do cimento. Portanto, é preciso estar atento às condições climáticas, controlando sempre a temperatura e a umidade ideal.



Falha de concretagem/vibração do concreto - Falha de concretagem, representada por má vibração, aumenta a porosidade do concreto e abre caminho para ataque do CO2 atmosférico

Deve-se assegurar que o concreto esteja maturado por pelo menos 15 a 20 horas, antes de submetê-lo a temperaturas mais baixas. A velocidade de endurecimento está relacionada à temperatura do concreto. Se a temperatura sobe, o endurecimento se acelera e vice-versa. A 35oC a velocidade de endurecimento é aproximadamente duas vezes mais rápida que a 20oC. Entretanto, a 10oC, a velocidade de endurecimento será a metade da velocidade à temperatura de 20oC. De acordo com Granato, na hidratação completa de 1 kg de cimento desenvolve-se aproximadamente 400-500 kJ de calor. "Em uma dosagem típica de concreto, isso levará a um aumento de temperatura de aproximadamente de 60-80oC, caso esse concreto não perca calor para o meio ambiente. Assim, a distribuição da temperatura na massa do concreto será dada pelo equilíbrio entre o calor gerado na hidratação com o meio circundante.



Reação álcali-agregado - Fundação de edifício com manifestação de reação álcali-agregado, que provoca a fissuração do concreto em forma de rede

Por isso, é necessário o máximo de cuidado em estruturas com paredes grossas, ou com pouca troca de calor com o ambiente, pois alcançarão elevada temperatura, que não se dissipará facilmente", alerta Granato.

O vento é outro fator importante. Juntos, vento e temperatura aceleram a evaporação da água de mistura do concreto. Portanto, um dos objetivos da cura criteriosa é assegurar que o concreto não seja submetido a tensões que originem fissuras devido a diferenças térmicas e retração de secagem. A água do concreto se evapora através da superfície úmida e dura em torno de dez a 12 horas. Após esse período, o movimento da água se dá por difusão, um processo muito lento. Portanto, é fundamental impedir a secagem do concreto durante as primeiras 24 horas. "A continuidade da cura úmida por mais dias repõe a perda de água por evaporação. A falta de cura úmida do concreto faz com que sua primeira camada perca a água de hidratação, tornando-na fraca, com baixa resistência à abrasão, porosa e permeável aos agentes agressivos", ressalta Granato.

NBR 6118 previne patologias

As últimas revisões da NBR 6118, realizadas em 2003 e 2007, e que contaram com a participação de engenheiros especialistas em tecnologia do concreto e em patologias, chamou a atenção para a durabilidade das estruturas, o cobrimento das armaduras e a relação água/cimento do concreto. O objetivo foi tornar as estruturas mais impermeáveis aos agentes agressivos, aumentando sua vida útil. "Portanto, nos casos dos projetos que adotaram esta revisão, se aliada a uma boa execução e um bom planejamento, há uma tendência de redução destas manifestações patológicas. Mas, ainda é muito cedo para darmos uma posição precisa", comenta Cesar Henrique Daher. Antônio Carmona Filho também não revela entusiasmo ao avaliar o impacto da nova NBR 6118 na redução de patologias: "os problemas vêm diminuindo de forma muito lenta".



Ataque químico em estação de tratamento de esgoto - Deterioração do concreto em estação de tratamento de esgoto, com exposição dos agregados, onde são comuns os ataques de sulfatos e a erosão pela ação da velocidade da água

Mas é preciso lembrar que outras normas que passaram por revisões recentes também podem ajudar a prolongar a vida útil das estruturas de concreto. A NBR 12655, em sua revisão de 2006, também incorporou os princípios de redução de permeabilidade do concreto por meio da relação água/cimento, mais resistente ao ataque por cloretos e sulfatos. "Em relação ao problema da reação álcali-agregado, em 2008 foi publicada a NBR 15577, em seis partes, dedicada a orientar a mitigação deste tipo de manifestação. Não se pode esquecer da Norma de Desempenho para edifícios habitacionais com até cinco pavimentos, a NBR 15575, que acaba de entrar em vigor e que traz as



especificações relativas à vida útil mínima das partes que compõem as edificações. No caso das estruturas para este tipo de edificação, o prazo mínimo previsto é de 40 anos.

Ataque por água do mar - Água do mar contribui para expansão, fissuração e desagregação do concreto devido à ação dos sulfatos, além de lixiviação e corrosão de armaduras pela ação de cloretos

Tendências em reparo e recuperação

Um verdadeiro arsenal de técnicas, cada vez mais sofisticadas, está à disposição dos especialistas em reparo e recuperação de estruturas de concreto. O professor Enio Pazini Figueiredo, da Universidade Federal de Goiás, que recentemente voltou do segundo pós-doutorado, na Norwegian University of Science and Technology (Noruega), trabalhou com sensores de corrosão e técnicas eletroquímicas de proteção e reabilitação de estruturas de concreto em ambientes agressivos.

"Quando se trata de obras de arte (pontes, túneis, viadutos, estruturas portuárias e off shore), os escandinavos, atualmente, optam por usar a técnica de proteção catódica, para proteção de obras novas e reabilitação de estruturas que passaram por processo de corrosão", conta. Maurício Grochoski destaca os avanços na tecnologia do concreto, que cada vez mais se tornam compactos e duráveis. "No setor de infraestrutura e industrial temos os revestimentos uretânicos e poliureia como tendência, além de inibidores de corrosão que agem por migração", explica. Na recuperação a repassivação eletroquímica das armaduras, a extração eletroquímica de cloretos e a proteção catódica com zinco termoprojetado são as principais tendências.

Na mesma linha, Cesar Henrique Daher destaca as inovações nas técnicas eletroquímicas, que diferem dos métodos de reparo tradicionais, principalmente por eliminar a etapa de retirada do concreto deteriorado. "As principais técnicas eletroquímicas são a extração de cloretos e a realcalinização do concreto. A primeira consiste na remoção dos íons de cloreto do interior do concreto, por meio da indução de uma corrente eletroquímica temporária, que leva à

repassivação das armaduras. Utiliza-se como eletrólito água da rede de abastecimento ou soluções saturadas de hidróxido de cálcio, para evitar que o eletrólito se torne ácido e venha a atacar o concreto, ou formar gás clorídrico, altamente tóxico", explica.

Como eletrodo (ânodo), utiliza-se malha metálica (geralmente, de aço inoxidável) aderida à superfície do concreto e recoberta por polpa de celulose. A malha metálica é ligada à armadura (que funciona como catodo) e, em seguida, aplica-se uma corrente contínua de baixa intensidade (entre 0,8 a 2A/m²). "O período de tratamento varia de seis a dez semanas, com intervalos de repouso de uma semana, a cada duas de tratamento. Com esse processo, pode-se chegar a teores de íons cloreto abaixo de 0,4% em relação à massa de cimento do concreto", ressalta.

Etapas do diagnóstico

Vistoria preliminar - Nessa fase, é realizado um levantamento superficial das manifestações patológicas para se ter uma noção do grau de deterioração da estrutura.

Anamnese - Fase em que se realiza um levantamento junto aos usuários da estrutura sobre a utilização, histórico de manutenções, histórico das manifestações (surgimento, evolução).

Levantamento documental - Procura-se buscar o máximo de documentos existentes da estrutura afetada, tais como projeto estrutural, as-built, memorial descritivo, diário de obras, cartas de traço do concreto empregado, certificados técnicos do controle tecnológico. Com raras exceções, nas obras de vulto (como usinas hidrelétricas), consegue-se pelo menos 10% dessa documentação.

Vistoria detalhada - Realização de levantamento detalhado da estrutura afetada, com registro de todas as manifestações e sintomas, como fissuras, trincas, deslocamentos de concreto, corrosão visível de armaduras etc.

Ensaio - Execução de ensaios in-situ, retirada de amostras para realização de ensaios em laboratórios. Essa é uma fase mais detalhada, onde se busca um delineamento mais preciso dos problemas existentes e de suas causas.

Conclusão - Compilação dos dados, análise criteriosa e parecer final. Nessa fase, pode-se necessitar de uma equipe multidisciplinar para realizar a análise e o parecer. Quando as causas e origens estiverem relacionadas a sobrecargas na estrutura, será necessária a presença de um engenheiro projetista estrutural para fazer a análise e propor o reforço.

Reparo de armadura

Fissuração e destacamento de concreto dos pilares de borda de condomínio residencial, que comprometia a segurança dos usuários e pedestres. Essa manifestação patológica ocorreu devido à corrosão das armaduras do concreto por causa de carbonatação, agravada pelo pequeno cobrimento das armaduras nesses elementos estruturais. A origem do problema foi falha de execução e se manifestou na etapa de uso do edifício.

1. Pilar de borda (fachada) que apresentou fissuração e destacamento de concreto.
2. O início do reparo acontece com o corte da área afetada e a escarificação do concreto, processo que remove o material solto, de baixa resistência, resultante da corrosão das armaduras.
3. Depois da limpeza dos resíduos resultantes da escarificação e do lixamento das armaduras, realiza-se a saturação do substrato com água potável e pulverizador, de forma a manter a superfície na condição "saturado com superfície seca", ideal para o recebimento e adesão da argamassa de reparo.
4. A partir daí aplica-se uma argamassa cimentícia tixotrópica, modificada com polímeros e, preferencialmente, reforçada com fibras, que recebe depois o acabamento com desempenadeira de madeira.
5. Atenção - Uma manta de cura molhada com água é aplicada sobre a argamassa, para manter a umidade ao longo de sete dias, evitando a evaporação da água de amassamento e a consequente fissuração.

Reparo de armadura

Fissuração e destacamento de concreto dos pilares de borda de condomínio residencial, que comprometia a segurança dos usuários e pedestres. Essa manifestação patológica ocorreu devido à corrosão das armaduras do concreto por causa de carbonatação, agravada pelo pequeno cobrimento das armaduras nesses elementos estruturais. A origem do problema foi falha de execução e se manifestou na etapa de uso do edifício.

Pilar de borda (fachada) que apresentou fissuração e destacamento de concreto.



O início do reparo acontece com o corte da área afetada e a escarificação do concreto, processo que remove o material solto, de baixa resistência, resultante da corrosão das armaduras



Depois da limpeza dos resíduos resultantes da escarificação e do lixamento das armaduras, realiza-se a saturação do substrato com água potável e pulverizador, de forma a manter a superfície na condição "saturado com superfície seca", ideal para o recebimento e adesão da argamassa de reparo.



A partir daí aplica-se uma argamassa cimentícia tixotrópica, modificada com polímeros e, preferencialmente, reforçada com fibras, que recebe depois o acabamento com desempenadeira de madeira.



Atenção - Uma manta de cura molhada com água é aplicada sobre a argamassa, para manter a umidade ao longo de sete dias, evitando a evaporação da água de amassamento e a consequente fissuração.

Material retirado <http://techne.pini.com.br/engenharia-civil/160/artigo287763-1.aspx>
09/2016