

XVIII COBREAP – CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE AVALIAÇÕES E PERÍCIAS. IBAPE/MG

NATUREZA DO TRABALHO: PROFISSIONAL

Patologias oriundas de degradação por chuva ácida

Resumo

Em função de diversos casos periciais e extrajudiciais com análise de danos encontrados nas edificações, pode-se verificar que uma grande parte dos problemas era oriunda da agressão pela chuva ácida, dessa forma se faz necessário seu estudo para pleno entendimento das patologias identificadas. A chuva ácida vem deteriorando edificações milenares, assim como as construções de forma geral em função da grande concentração de poluentes químicos que são despejados na atmosfera diariamente, desde a Revolução Industrial no século XIX, se acentuando no final do século XX nos países industrializados. A chuva é considerada ácida quando o pH está muito baixo, inferior a 5, sendo a acidez normalmente oriunda da solubilização de alguns gases presentes na atmosfera, tal como o enxofre. Esse artigo pretende demonstrar muitos dos problemas identificados nas vistorias e oriundos dessa degradação ambiental.

PALAVRAS CHAVE: *Chuva ácida – Concreto – Manutenção – Fissura*

INTRODUÇÃO

O termo chuva ácida foi utilizado pelo químico, Robert Smith em 1872, quando descrevia a poluição em Manchester na Inglaterra. Esse processo se inicia com a Revolução Industrial com a queima de combustíveis fósseis, tais como: carvão, óleo diesel, gasolina entre outros e se agrava no final do século XX em função do aumento das indústrias e do crescimento populacional dos grandes centros.

A nível mundial, a percepção da acidez da chuva só foi identificada na década de 50 quando diversos ecossistemas estavam seriamente comprometidos.

A chuva é naturalmente ácida, pois o gás carbônico atmosférico (CO_2) dissolve-se nas nuvens e na chuva para formar um ácido fraco, o ácido carbônico (H_2CO_3). Esse ácido confere a chuva um pH entre 5 e 7. Quando a chuva possui valores de pH inferiores a 5 indica que a mesma está poluída com ácidos fortes como o ácido sulfúrico (H_2SO_4) e o ácido nítrico (HNO_3), entre outros. A chuva ácida é composta por diversos ácidos, tais como o óxido de nitrogênio e os dióxidos de enxofre, e se caracterizam por possuir um pH inferior a 4,5. A chuva ácida além de ser letal à vida lacustre prejudica florestas e solos e gera corrosão nas armaduras das edificações, penetrando por fissuras que se expandem rapidamente, como será apresentado a seguir.

Edifícios, pontes, monumentos, assim como construções históricas são atacados pela chuva ácida e conforme estudos as construções consideradas patrimônio da humanidade, tal como a Acrópole de Atenas, as Pirâmides do Egito, o Taj Mahal na Índia, os palácios romanos e catedrais europeias, que sofreram mais danos nos últimos 40 anos do que nos 600 anos anteriores quando não havia a agressividade da poluição ambiental.

CONCEITO DE pH

O conceito de pH está relacionado a uma escala de valores que serve para determinar o grau de acidez ou de basicidade de uma dada substância. Varia entre 0 e 14, sendo o valor médio, o sete, correspondente a soluções neutras. Para valores superiores a 7 as soluções são consideradas básicas, e para valores inferiores a 7, serão ácidas.

Como os ácidos se ionizam em íons hidrogênio (H^+) e as bases em íons hidróxido (OH^-) quanto mais íons hidrogênio mais ácida será a solução, ao contrário, quanto mais íons hidróxido mais básica e alcalina.

O termo pH é, portanto, utilizado para descrever o grau de acidez ou de alcalinidade existente, é expresso numa escala que vai de 0 a 14. Quando o pH é de 7 as concentrações de H^+ e OH^- são iguais e, portanto, há neutralidade.

A escala de pH é baseada no número de H^+ , sendo logarítmica, portanto, uma água com pH igual a 3,0 é 10 vezes mais ácida que uma com pH 4,0, e uma água igual a 4,7 tem o dobro de íons H^+ do que a água com pH igual a 5,0.

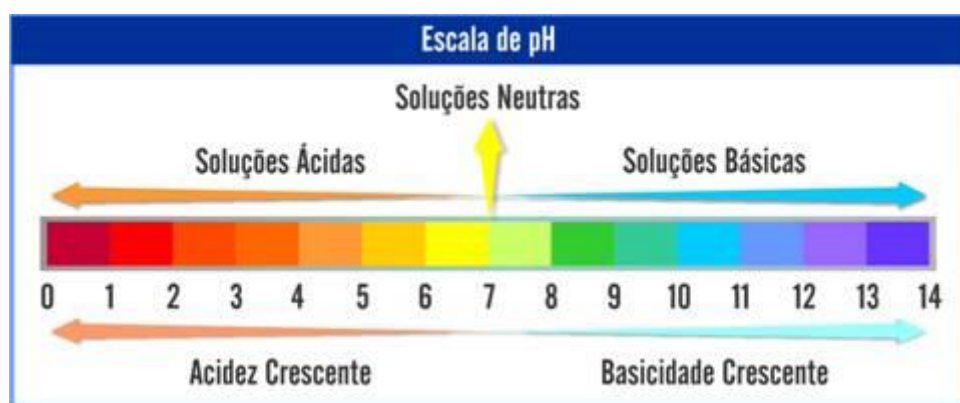


Figura nº1: Gráfico da escala de pH

Fonte: http://pedropradobras.blogspot.com.br/2015_06_01_archive.html

DAS CARACTERÍSTICAS DO CONCRETO

O concreto é um material litóide, resultante do amassamento de uma mistura dosada de um ou mais aglomerantes hidráulicos, agregado miúdo, areia, agregado graúdo, brita ou cascalho, homogeneizados com água

Segundo Bauer:

“O material mais utilizado em estruturas é o concreto armado, entendendo-se como tal a mistura íntima de cimento, agregados, água, eventualmente aditivos e o aço que vai constituir a fibra ou nervo de que o concreto necessita para ser um material estrutural completo.”¹

A chuva ácida, como já comentado, está poluída com ácidos fortes como o ácido sulfúrico (H_2SO_4) e o ácido nítrico (HNO_3) que interferem no concreto, gerando expansão, baixando a resistência e a durabilidade, itens essenciais e exigidos atualmente pelas Normas Técnicas da ABNT. A água da chuva ácida, rica em sulfatos reage com o aluminato tricálcico do cimento, expandido e consequentemente gerando fissuras com aumento de volume e desagregação progressiva.

De acordo com Bauer:

“Se a estrutura se encontra nas proximidades do mar, o ar, por possuir uma grande concentração de sais e uma umidade relativa, que geralmente é elevada, penetra pelos poros do concreto destruindo o cimento. Esse ambiente corrosivo manifesta-se, às vezes, em distâncias de até 5 km. Nesse tipo de corrosão do concreto tem grande influência a sua falta de compacidade, a existência de corrosão nas armaduras e a temperatura e umidade relativa do ambiente”.

Cita ainda que:

“No caso de estruturas próximas ao mar devem ser empregados concretos muito compactos com baixas relação água-cimento, fabricados com cimento de baixo conteúdo de aluminato tricálcico e com espessuras de revestimento e cobrimento de armadura indicado nas normas técnicas”

¹ BAUER, L.A. Falcão – Patologia e Terapia do Concreto Armado – Editora Pini – São Paulo - 1988

CORROSÃO

O tipo de corrosão que ocorre no concreto armado é de natureza galvânica, já que o aço da construção é feito com ferro e outros diferentes materiais. A norma ASTM define corrosão do aço como “*corrosão galvânica acelerada, em função do ambiente agressivo e de contatos elétricos com metais mais nobres*”. O ferro é termodinamicamente instável e seu menor estado de energia é um óxido, característico do seu estado de corrosão.

A oxidação provoca a destruição da armadura do concreto armado. No anodo, átomos de ferro, ao perderem seus elétrons, ganham carga positiva. Esta transação chama-se corrosão.

Como íons metálicos na interface, os Fe^{2+} esperam os íons hidroxilas OH^- para formar produtos de corrosão do tipo $\text{Fe}(\text{OH})_2$ no anodo, e outras substâncias como FeO , Fe_2O_3 , Fe_3O_4 , etc. Para manter a neutralidade da carga, os íons hidroxila OH^- migram do catodo para o anodo através da solução interfacial, para reagir com os íons Fe^{++} . O que se vê então é um fluxo de elétrons por meio da armadura, e um fluxo de íons pela solução interfacial.

É importante observar que a corrosão por cloretos é mais danosa que por carbonatação, uma vez que através da carbonatação há o aviso na forma de trincas, e a corrosão por cloretos normalmente não avisa, há o imediato rompimento da peça.

A chuva ácida acelera a corrosão das armaduras existente nas construções



Desprendimento de revestimento e corrosão das armaduras em edificação à beira mar



Desprendimento de revestimento e corrosão das armaduras em edificação à beira mar

CARBONATAÇÃO

A corrosão é acelerada quando o pH do concreto é reduzido pela reação:



Ocorre devido à chuva ácida, poluição, umidade do ar, proximidade a beira mar pela ação dos íons cloreto, que provocam as células da corrosão, consequentemente há um caminho excelente para a carbonatação, provocando trincas e fissuras.

A contaminação por meio de cloretos se dá pela penetração de íons cloreto no concreto, com a ajuda da umidade superficial (umidade + oxigênio + maresia). Durante anos os íons cloreto atingem as armaduras, e a corrosão se inicia, ocorrendo deslocamentos.

A medição da contaminação do concreto por cloretos deverá ser realizada na própria obra, por meio de uma furadeira de impacto, que colherá uma amostra de concreto pulverizado.

A corrosão também poderá ser provocada por diferentes tipos de materiais no mesmo concreto, exemplo da presença de aço e alumínio. O alumínio em contato com o concreto libera gás hidrogênio criando porosidades localizadas, causando a fissuração do concreto circundante.

No mecanismo da corrosão, a reação eletroquímica entre a superfície do aço e o concreto úmido forma uma “pilha de corrosão” (anodo/catodo/eletrolito) e quanto maior esta reação, maior a corrosão.

Ocorre também a corrosão bacteriológica, que ataca tanto quanto os íons cloreto. Ocorrem principalmente na presença de esgoto sanitário. A fermentação, gases metano e sulfeto de hidrogênio, que reagem com o CO_2 e o vapor d'água (H_2O), formam carbonatos e conduzem o pH para valores menores que 9. Quando o pH é inferior a 9 surgem vários micro-organismos que expelem ácidos, reduzindo ainda mais o pH. Estando o pH ainda menor, surgem novas famílias de bactérias,

que expõem ainda mais ácidos. Os tiosulfatos são oxidados em politionatos e estes em sulfatos. Com pH abaixo de 6, surgem famílias de *thiobacillus* e os *thiothiapiarus*, que se alimentam dos sulfatos e expõem o enxofre natural, e o convertem em ácido sulfúrico, que reage com a cal, atacando o concreto.

PATOLOGIAS NAS GARAGENS

A combinação de gás carbônico com a umidade proveniente até mesmo de veículos molhados por chuva que acessam a garagem provoca um “ataque” químico à ferragem, que terá sua vida útil em muito reduzida, ocorrendo a despasseivação da mesma, o que compromete a durabilidade estrutural.

As garagens nas edificações normalmente não têm revestimento na estrutura de seus tetos, sendo apenas eventualmente pintadas. Desta forma, são usualmente os locais onde primeiro se percebem os sinais de carbonatação e consequente corrosão das armaduras.



Patologias na armadura das lajes em garagem



Patologias na armadura das lajes em garagem

DAS FISSURAS

Fissuras são aberturas capilares que aparecem nos materiais, oriundas de tração. Sempre que se observa a existência de fissuras é porque ocorreu algo não previsto originariamente, excedendo a capacidade de resistência do material. A fissura é um processo essencial para a formação de corrosão.

Segundo Ripper:

“As fissuras podem ser divididas em dois grandes grupos, conforme apareçam antes ou depois do endurecimento do concreto.

*O aparecimento anterior ao endurecimento é aquele em que é ainda possível remoldar o concreto. Após o lançamento, costuma variar de uma a 12 horas, dependendo da temperatura, umidade do concreto e do uso de aditivos modificadores do tempo de pega, aceleradores ou retardadores”.*²

Segundo Vicente Custódio e Thomaz Ripper:

“As fissuras podem ser consideradas como a manifestação patológica característica das estruturas de concreto, sendo mesmo o dano de ocorrência mais comum e aquele que, a par das deformações muito acentuadas, mais chama a atenção dos leigos, proprietários e usuários aí incluídos, para o fato de que algo de anormal está a acontecer.

*É interessante observar que, no entanto, a caracterização da fissuração como deficiência estrutural dependerá sempre da origem, intensidade e magnitude do quadro de fissuração existente, posto que o concreto, por ser material com baixa resistência à tração, fissurará por natureza, sempre que as tensões trativas, que podem ser instaladas pelos mais diversos motivos, superarem a sua resistência última à tração”*³

² Ripper, Ernesto –Material Prático de Materiais de Construção – Editora PINI – SP - 1995

³ Souza, Vicente Custódio Moreira e Ripper, Thomaz – Patologia, Recuperação e Reforço de estruturas de concreto – Editora PINI – SP 1998

Ainda segundo Vicente Custódio e Thomaz Ripper:

“O concreto fissurado interna e externamente e deteriorado pode perder a durabilidade em grande velocidade, dependendo do tipo de exposição do elemento estrutural, das condições ambientais, da ação de águas agressivas (que penetram pelas fissuras e poros) e do contato das armaduras com o ar. Estas reações são favorecidas pelo maior grau de umidade do ambiente e pelo fator água-cimento elevado, assim como pelas altas temperaturas, que as aceleram”



BROTAMENTO DE VEGETAÇÃO

Sendo o concreto um material básico, possuindo microfissuras quando ocorre a chuva ácida, se formam cristais salinos no interior das fissuras, que geram a expansão das mesmas. Esse processo é contínuo, a cada chuva as fissuras vão se tornando maiores, permitindo o depósito de poeira e de sementes. Nas microfissuras se inicia o processo de brotamento de vegetação, que vai criando raízes, que forçam mais abertura das fissuras e com sua seiva atacam o sistema de impermeabilização de áreas descobertas e geram sérios problemas patológicos. Além da chuva ácida, as fezes dos pássaros também aumentam a acidez local, contribuindo diretamente para o agravamento do processo de deterioração.

Tal ocorrência se verifica em áreas descobertas, principalmente nos telhados, fachadas e áreas descobertas dos pavimentos de uso comum e garagens.



Brotamento de vegetação no pavimento de cobertura



Brotamento de vegetação no pavimento de cobertura



Brotamento de vegetação na fachada, com fissuração e desprendimento do revestimento



Brotamento de vegetação na junta de dilatação de estacionamento descoberto



Brotamento de vegetação em pavimentos expostos às intempéries.

DAS EDIFICAÇÕES HISTÓRICAS

As fachadas das edificações históricas requerem um maior cuidado na remoção da vegetação que se instala, visto que a remoção requer cuidados para não danificar ornatos e revestimento. Um grande exemplo desse cuidado está em São Luiz, Maranhão, considerada uma das cidades brasileiras com maior predominância de sobrados do período colonial e imperial, com fachadas revestidas em azulejos.

Conforme estudo de Maria Lúcia Machado, os azulejos foram uma grande influência portuguesa:

“Outra grande influência portuguesa foi o azulejo, cujo período áureo no Brasil deu-se no século XIX. Ao mesmo tempo, num movimento inverso, a utilização nacional acabou por influenciar a renovação da azulejaria em Portugal a partir de 1950, graças a profissionais que lutavam para implantar a arquitetura moderna.”⁴

De acordo com o Catálogo dos Azulejos de São Luís, publicado em 2004, existem mais de 400 imóveis com fachadas revestidas em azulejos históricos, sendo peças importadas da Europa que datam dos séculos XVIII, XIX e início do século XX. As patologias identificadas nas fachadas de azulejos são oriundas dos fortes ventos existentes na região, que geram processos de erosão com perda de material, e pelos cristais de sal oriundos das chuvas ácidas, que geram o brotamento de vegetação, rompendo a vitrificação das peças e da argamassa de rejunte.

A utilização do azulejo nas fachadas dos sobrados pode ser identificada não só no Maranhão, mas em toda a área do nordeste e sudeste. Os revestimentos em material cerâmico vitrificado, conhecido como azulejo, pode ser identificado em sobrados no centro do Rio de Janeiro, sendo um componente tipicamente luso-brasileiro. (TINOCO, 2008). Na época de sua utilização, o azulejo tornava o ambiente dos sobrados mais fresco e reduzia os custos e o tempo de manutenção e conservação.



Sobrados no Centro do Rio de Janeiro com fachadas revestidas em azulejo

⁴ Machado, Maria Lucia – Interiores no Brasil, a influência portuguesa no espaço doméstico, Editora Olhares, SP 2011

Os materiais das edificações são muito vulneráveis à chuva ácida, tal como a pedra calcária e o mármore, materiais extremamente porosos. Além disso, a acidez desgasta e descolore antigos monumentos, esculturas, chafarizes, entre outros objetos de relevante valor histórico e arquitetônico.

Quando se estudam os materiais dos grandes monumentos históricos observa-se que muitas esculturas, principalmente dos mestres helênicos como Fídias e Praxíteles foram executadas em mármore de Paros e Pentelikon, assim como Michelangelo que trabalhou no mármore Carrara, material que atende às exigências do cinzel do escultor, mas que se ressenete muito com a ação da chuva ácida e dos poluentes.



Edificações históricas danificadas e sem manutenção apresentando brotamento de vegetação.



Edificações históricas danificadas e sem manutenção apresentando brotamento de vegetação.

DA MANUTENÇÃO

Entende-se como manutenção o conjunto de atividades que garantam o desempenho satisfatório ao longo do tempo da edificação, para tal a inspeção rotineira se faz necessário.

Segundo a NBR 5674 – Norma de Manutenção das edificações considera-se como manutenção:

“3.5 manutenção: Conjunto de atividades a serem realizadas para conservar ou recuperar a capacidade funcional da edificação e de suas partes constituintes de atender as necessidades e segurança dos seus usuários”

Em diversas vistorias realizadas pode-se observar que a falta de conhecimento e de manutenção adequada, principalmente em áreas descobertas, permite que ocorra o brotamento de vegetação, em função da abertura de fissuras, que vai paulatinamente gerando sérios problemas patológicos.

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Inicialmente é preciso lembrar que a água da chuva se torna ácida quando se encontra em ambientes poluídos, principalmente por indústrias e pela presença de automóveis, que geram a queima de combustíveis fósseis como carvão e petróleo. As construções não podem ser consideradas obras perenes, dessa forma devem ser objeto de inspeções periódicas e de manutenção constante. Com essa prática, as patologias podem ser previamente identificadas e corrigidas, tal como o brotamento da vegetação em áreas descobertas e fachadas, que devem ser removidas imediatamente para evitar a degradação das superfícies de concreto e o ataque às armaduras, com a instalação do processo de corrosão.

O concreto armado deve atender às prescrições da NBR 6.118, tanto em relação à durabilidade quanto em relação à resistência e limite de deformações. As fissuras ocasionadas pela chuva ácida geram perda de desempenho e de durabilidade. Uma das características do concreto submetido à ação das águas contaminadas pela chuva ácida, assim como pela presença de íons cloreto do mar, é a desagregação, mediante a qual o concreto perde seu aglomerante, ocorrendo a fissuração, propiciando o início do brotamento da vegetação, que agrava o problema existente. A qualidade da construção se faz cada vez mais importante, visto que um concreto compacto e impermeável, fabricado de forma adequada, resiste melhor à ação das águas contaminadas.

Para reduzir os efeitos da chuva ácida num ambiente há necessidade de se tentar buscar soluções ambientalmente adequadas, tal como a redução do uso de automóveis e aplicação de medidas mitigadoras de produção de poluentes nas indústrias.

Nas construções, as soluções para minimizar os efeitos da chuva ácida têm dois aspectos: preventivo e corretivo. A solução preventiva requer a remoção do

brotamento de vegetação em áreas descobertas e fachadas, e para tal há necessidade de uma manutenção constante, com inspeções periódicas.

Para a solução corretiva, muitas vezes há necessidade da realização de testes à percussão, principalmente nas fachadas, para verificação de áreas apresentando som cavo, indicando possível desagregação e consequente corrosão das armaduras. Além da recuperação dos materiais já degradados com utilização de novas técnicas e materiais, tais como: proteções galvânicas por metais mais ativos; injeções e pinturas com materiais capazes de colmatar pequenas fissuras, pode-se utilizar materiais novos, como microsílca e microfibras, que diminuem a porosidade ou fissuração superficial das áreas cimentadas posicionadas em locais abertos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Machado, Maria Lucia – Interiores no Brasil, a influência portuguesa no espaço doméstico, Editora Olhares, SP 2011
- Catálogo dos Azulejos de São Luís, publicado em 2004
- Tinoco, Jorge Eduardo Lucena – Azulejos do século XIX, um projeto de restauro, Olinda, 2008.
- SOUZA, Vicente C.M. e RIPPER, Thomaz - Patologia, recuperação e Reforço de Estruturas de Concreto - Pini - 1998
- HELENE, Paulo R. I. - Patologia das Construções de Concreto - Construção Pesada - p.112-122 São Paulo – 1981
- BAUER, L.A. Falcão – Patologia e Terapia do Concreto Armado – Editora Pini – São Paulo – 1988
- Ripper, Ernesto – Material Prático de Materiais de Construção – Editora PINI SP - 1995