https://doi.org/10.4322/CBPAT.2022.035

FISSURAÇÃO DO CONCRETO DEVIDO À CORROSÃO DO AÇO: ALGUNS CASOS REAIS

Eduardo Thomaz[1]*, Luiz Carneiro[2], Mayra Perlingeiro[2] e Flávia de Souza[3]
*Autor de contato: ecsthomaz@terra.com.br

[1] Seção de Engenharia de Fortificação e Construção, Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro/RJ, Brasil
[2] Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal Fluminense, Niterói/RJ, Brasil
[3] Departamento de Estruturas, Universidade Federal Fluminense, Rio de Janeiro/RJ, Brasil

RESUMO

Este trabalho tem por objetivo apresentar alguns casos de fissuração do concreto devido à corrosão do aço da armadura interna em diferentes elementos estruturais em concreto armado. São comentados oito casos ocorridos em base de torre de rede elétrica, marquise, mesa e banco de jardim, muro de placas pré-moldadas, pilar, ponte, poste, tubo de rede de esgoto em concreto armado, onde se relatam os problemas encontrados, as causas da fissuração e as possíveis soluções para estes casos. Verificou-se que as causas de fissuração do concreto relacionadas à corrosão das armaduras internas são devidas à porosidade do concreto, ação externa de agentes químicos, falta de impermeabilização, falha de execução da montagem da armadura interna, e insuficiência do cobrimento de concreto.
Palavras-chave: casos; fissuração; concreto; corrosão do aço.

ABSTRACT

This work aims at presenting some cases of concrete cracking due to internal reinforcement steel corrosion in different reinforced structural concrete elements. Eight cases that occurred on the basis of a power grid tower, cantilever slab, table and bench garden, wall of pre-molded plates, column, bridge, utility pole, sewer pipe in reinforced concrete are discussed, in which the problems encountered, the causes of cracking and possible solutions for these cases are reported. It was verified that the causes of concrete cracking related to internal reinforcement steel corrosion are due concrete porosity, external action of chemical agents, lack of waterproofing, failure to perform the assembly of the internal reinforcement, and insufficiency of the concrete cover.
Keywords: cases, cracking, concrete, steel corrosion.

1. INTRODUÇÃO

A fissuração do concreto é a manifestação patológica mais comum nas estruturas de concreto, por conta dos efeitos reológicos, que são as modificações internas de comportamento do concreto ao longo do tempo, da composição do concreto ou das solicitações aplicadas nas estruturas de concreto.

As fissuras decorrentes de cargas diretas em estruturas de concreto são originadas por tensões de tração provocadas por solicitações de flexão, cisalhamento, punção, torção, alguns casos de protensão, entre outros (CARMONA FILHO e CARMONA, 2013).

Por apresentar baixa resistência à tração, caso alguma tensão de solicitação interna ultrapasse esta resistência, o concreto fissura, cuja abertura depende de diferentes parâmetros, tais como a bitola, o coeficiente de conformação superficial e a deformação da armadura interna, entre outros.

As fissuras decorrentes de outros fenômenos, isto é, aqueles não relacionados a cargas diretas em estruturas de concreto, podem ser motivadas por assentamento plástico, movimentação de formas, retração do concreto, variação de temperatura, deslocamentos impostos - recalques diferenciais de fundação, e por fenômenos químicos deletérios, tais como ataque de sulfatos, reação álcali-agregados, corrosão das armaduras (CARMONA FILHO e CARMONA, 2013).

Segundo a norma NBR 6118 (ABNT, 2014), a fim de cumprir as exigências de durabilidade relacionadas à fissuração em função da classe de agressividade ambiental, as estruturas de concreto armado podem apresentar fissuras com abertura entre 0,2 mm e 0,4 mm no estado limite de abertura de fissuras para combinação de ações frequente em serviço, enquanto as estruturas de concreto protendido, abertura de até 0,2 mm em caso de protensão parcial.

Neste trabalho, apresentam-se diferentes elementos estruturais em concreto armado com fissuração do concreto devido à corrosão do aço da armadura interna (THOMAZ, 2022), nos quais se relatam os problemas encontrados, as causas da fissuração e as possíveis soluções para esta fissuração.

2. CORROSÃO DO AÇO

De um modo geral, a corrosão de barras de aço pode ocorrer devido a diversos fatores, tais como baixa qualidade do concreto, falhas de concretagem ou de construção, espessura do cobrimento de concreto insuficiente, entre outros.

Nos poros do concreto, existe uma solução com elevada alcalinidade, de modo que o pH é maior ou igual a 12,5 (meio básico). Isto promove uma proteção da barra de aço da armadura interna de elementos estruturais em concreto armado contra a corrosão, chamada por camada passivadora.

A corrosão do aço é um processo eletroquímico, que avança da periferia das barras de aço para o seu interior. Há a geração de um potencial elétrico na presença de um eletrólito (solução aquosa existente nos poros do concreto) em contato com um condutor metálico (barra de aço da armadura interna).

Com o decorrer da corrosão, estabelece-se o fenômeno da expansão do volume das barras de aço, o que submete a camada de concreto que as envolve à concentração de tensões. Isto acarreta o destacamento da camada de cobrimento de concreto, que rompe por tração, e a diminuição da área

da seção transversal das barras de aço, levando o elemento estrutural de concreto armado a ter menor capacidade resistente.

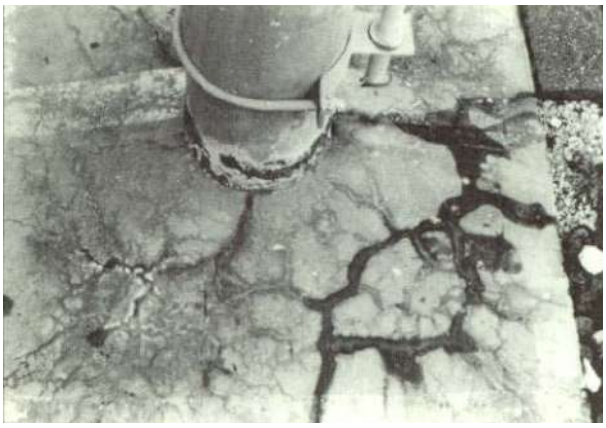
3. CASOS DE CORROSÃO DO AÇO EM ESTRUTURAS DE CONCRETO

Os itens a seguir apresentam, de forma resumida e com esboço ou fotos, elementos estruturais em concreto armado fissurados em consequência da corrosão do aço da armadura interna.

3.1 Base de torre de rede elétrica

Na Figura 1 pode-se ver fissuras em forma de "mapa", visualmente semelhantes às fissuras usuais de retração, na base de uma torre de rede elétrica em concreto armado.

Figura 1 – Base de torre de rede elétrica com fissuras em forma de "mapa"



Fonte: COLLEPARDI (1999).

O concreto foi executado, no local, com cimento de alto teor de sulfatos. Devido à existência umidade no meio ambiente, além de sulfatos no próprio cimento, houve um aumento do volume do concreto por conta da formação da etringita, o que gerou incremento de fissuras no concreto.

Segundo READING (1975), a formação da etringita ocorre no interior do concreto quando há umidade no ambiente, sulfato no ambiente ou no próprio cimento e fissuras pré-existentes no concreto.

A quantidade de água de cristalização na etringita é elevada, o que resulta em um grande aumento do volume de concreto. Em decorrência disto, surgem fissuras na pasta endurecida de cimento ao redor da etringita. Como resultado, tem-se aumento da permeabilidade no concreto, levando a um maior ataque de sulfatos do meio ambiente externo. É um círculo vicioso, isto é, a degradação do concreto é progressiva.

Recomenda-se, a fim de se impedir o ataque de sulfatos no concreto, evitar: o uso de cimento com excesso de sulfatos, o acesso dos sulfatos do meio ambiente ao concreto (como ocorre em silos de carvão mineral com alto teor de sulfatos), o contato do concreto com água com teor de sulfato acima de 3.000 mg por litro (se for inevitável, o melhor é impermeabilizar o concreto; caso este teor esteja entre 600 mg por litro e 3.000 mg por litro, o concreto deve ter resistência superior a 38 MPa, teor de cimento resistente a sulfato maior que 340 kg por m^3 de concreto, teor de microssílica igual a 17 kg por m^3 de concreto, superplastificante, e relação água-aglomerante menor ou igual a 0,38), o cobrimento do concreto menor que 50 mm de espessura, a umidade e exposição

à chuva em ambiente industrial com alto teor de sulfatos (em área de refinarias de petróleo, fazer impermeabilização do concreto), e a fissuração do concreto por retração térmica, por retração referente à secagem devida à cura defeituosa e por cura a vapor com temperatura maior que 65 graus centígrados.

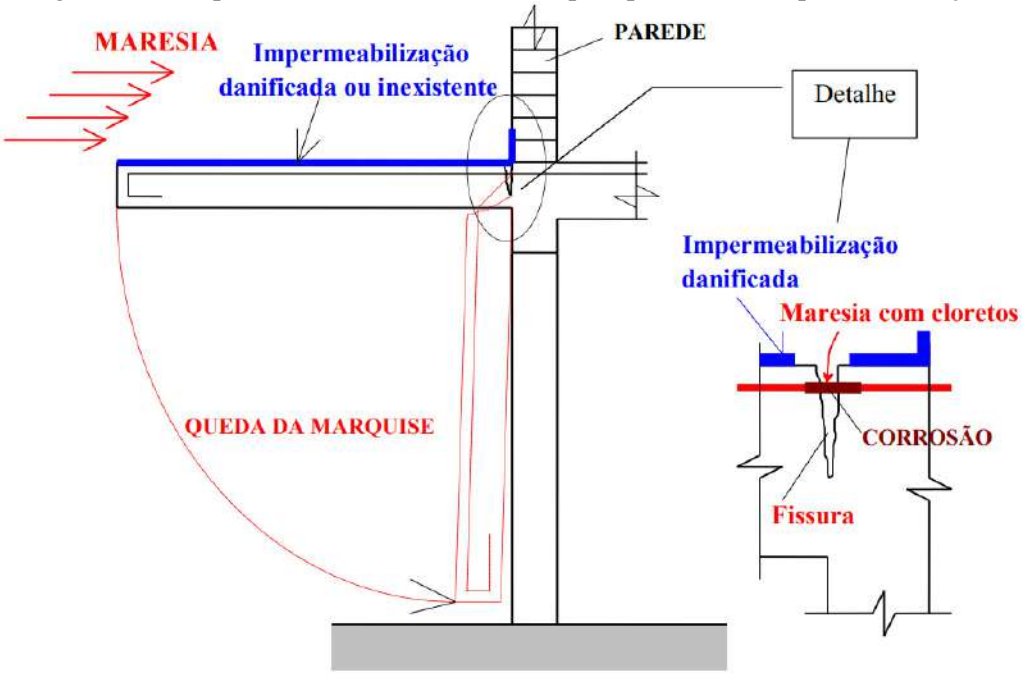
3.2 Marquise

A Figura 2 ilustra uma marquise em concreto armado situada em uma região marítima, que rompeu devido à falta ou à deterioração da camada de impermeabilização.

A falta ou deterioração da camada de impermeabilização permitiu que a maresia, aerossol resultante do transporte pelo vento das gotículas de água salgada contendo cloretos, penetrasse no concreto por conta das fissuras de flexão na região de engaste da marquise. Os cloretos destruíram a camada passivadora da superfície das barras de aço da armadura negativa de flexão e a corrosão destas começou e progrediu rapidamente.

Em prédios construídos há cerca de 50 anos no bairro de Copacabana, na cidade do Rio de Janeiro/RJ, cuja região é próxima ao mar, tem ocorrido esse tipo de problema.

Figura 2 – Marquise em concreto armado rompida por falta de impermeabilização



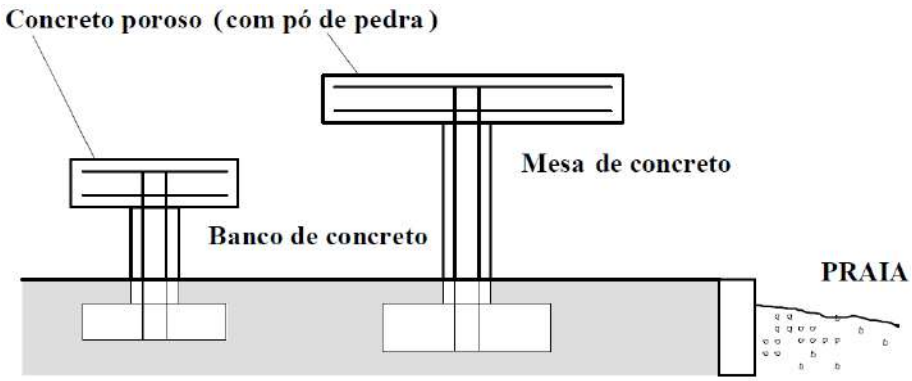
Fonte: os autores.

A solução, na fase do projeto e da execução, consiste em dimensionar a armadura com uma tensão tração baixa de modo a reduzir a abertura da fissura, utilizar barras de aço da armadura com diâmetro maior ou igual a 10 mm, que têm pouca sensibilidade à corrosão, garantir um cobrimento de cerca de 4 cm de concreto com elevado consumo de cimento e com perfeito adensamento de modo a se obter uma baixa permeabilidade, e revestir a marquise com adequada manta de impermeabilização, tendo sua manutenção de modo permanente.

3.3 Mesa e banco de jardim

A Figura 3 mostra a estrutura típica de mesa e banco em concreto armado de jardim público que se localizam junto à praia. Em grande parte destas estruturas, o concreto é poroso, feito com pó de pedra, possivelmente por questões arquitetônicas.

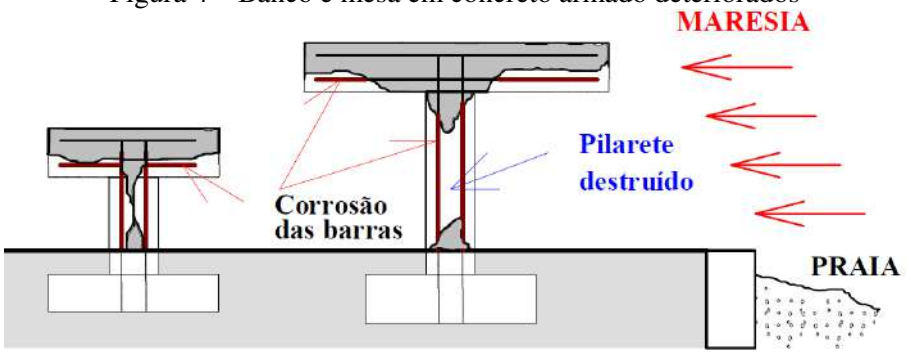
Figura 3 – Banco e mesa em concreto armado



Fonte: os autores.

Devido à porosidade do concreto e a estrutura estar em um ambiente altamente agressivo, sob a ação da maresia, a degradação pode acontecer de forma rápida. O cloro contido na maresia penetra facilmente no concreto e destrói a camada passivadora da superfície das barras de aço da armadura. A umidade elevada desse ambiente gera ciclos de molhagem e secagem que aceleram a corrosão, tornando-a intensa e rápida.
Observa-se na Figura 4, que grande parte dos elementos estruturais se deteriorou, passando a ter a exposição da armadura.

Figura 4 – Banco e mesa em concreto armado deteriorados



Fonte: os autores.

A Figura 5 mostra um banco de concreto armado deteriorado, com a armadura exposta. Observa-se que há espaçadores para garantir o cobrimento, mas não é o suficiente para evitar a corrosão das armaduras.

Como não são estruturas de maior responsabilidade, estas podem ser somente reparadas, sem a necessidade de ter uma recuperação estrutural. Caso estejam bem danificadas, pode-se refazê-las. Entretanto, deve-se evitar o uso de concreto poroso em ambientes agressivos como a orla marítima. Indica-se o uso de concreto rico em cimento para contribuir com a proteção das armaduras de aço.

Figura 5 – Banco em concreto armado deriorado pela corrosão

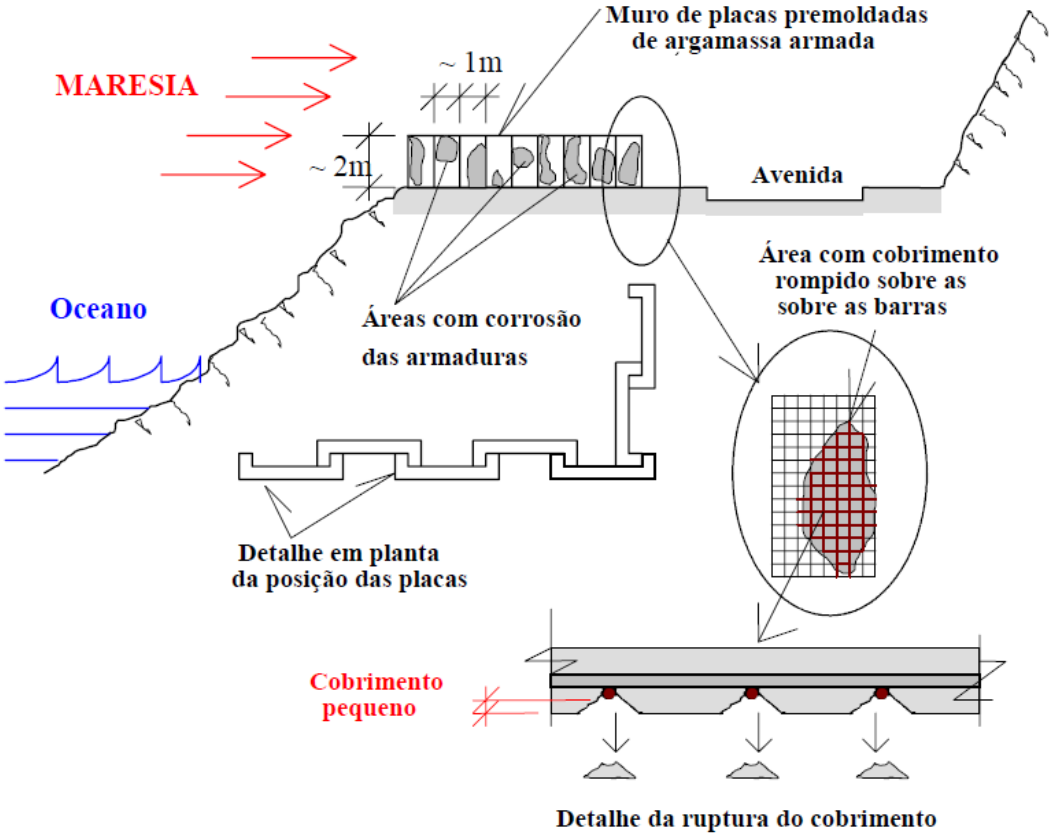


Fonte: os autores.

3.4 Muro de placas pré-moldadas

O muro de placas pré-moldadas de argamassa armada ilustrado na Figura 6 se encontra junto ao mar. Este tipo elemento, em geral, contém elevado teor de cimento e tem cura submersa na sua fabricação. Entretanto, pode apresentar um cobrimento do concreto menor, o que permite que os agentes agressivos (cloretos) contidos na maresia penetrem até a malha de aço interno.

Figura 6 – Muro de placas pré-moldadas com armadura corroída



Fonte: os autores.

Muitas vezes, com o manuseio inadequado durante o transporte e montagem das peças pré-moldadas, podem surgir fissuras indesejadas ao longo das barras da tela de aço, originando pontos fracos por onde os agentes agressivos penetram no interior do elemento estrutural.

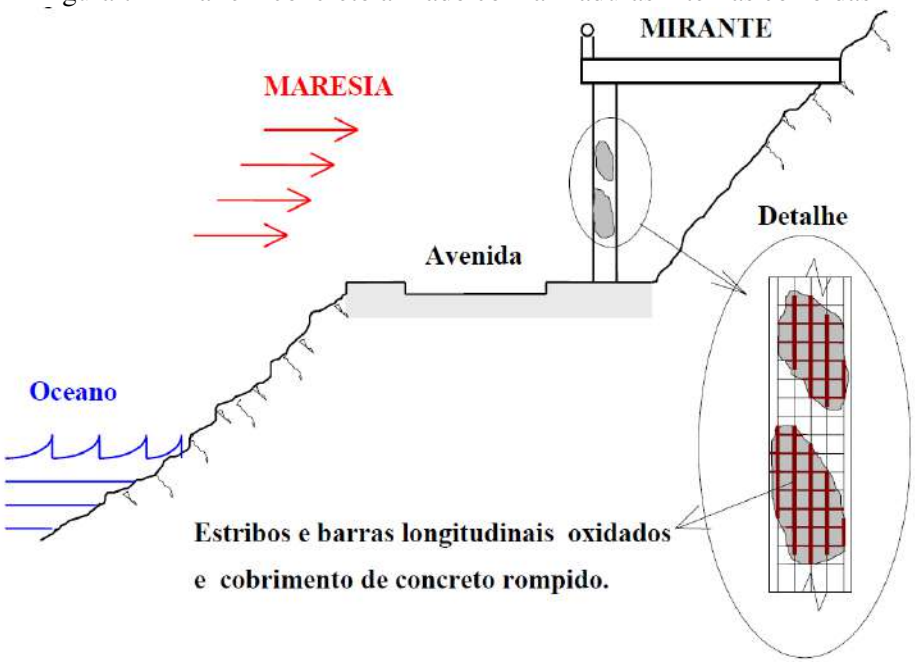
Normalmente, a corrosão se inicia nas dobras das barras e evoluem rapidamente, confirmando as observações já feitas anteriormente.

Em peças de pouca espessura, recomenda-se uma proteção superficial com materiais impermeabilizantes junto ao cobrimento do concreto para evitar a corrosão da armadura, como por exemplo, microssílica na argamassa, devendo-se avaliar o custo-beneficio do seu emprego.

3.5 Pilar

A estrutura, mostrada na Figura 7, se localiza em local com microclima muito adverso à durabilidade de estruturas de concreto armado. Estão presentes na atmosfera todos os fatores que propiciam a corrosão das barras de aço embutidas no concreto: cloretos presentes na maresia, elevada umidade por estar em região costeira e oxigênio presente no ar.

Figura 7 – Pilar em concreto armado com armaduras internas corroídas



Fonte: os autores.

Os cloretos destroem a camada passivadora que cobre e protege a superfície das barras da armadura. O oxigênio do ar e a umidade existente no concreto permitem a formação de uma pilha eletrolítica e a corrosão é ativada. As barras em aço corroídas se expandem e rompem o cobrimento do concreto. Verificou-se que a corrosão inicia-se nos vértices dos estribos.

Para recuperar os danos causados nessa estrutura pela corrosão, deve-se delimitar a área danificada e escarificá-la, manualmente, retirando materiais soltos até alcançar o concreto são. Em seguida, remove-se a corrosão das armaduras e limpam-se as superfícies com o jateamento com agua com pressão. Para garantir a “ponte de aderência” entre o concreto “velho” e o concreto “novo”, aplica-se adesivo à base mineral ou de acrílico, para depois aplicar argamassa polimérica com base cimentícia.

3.6 Ponte

Em pontes em concreto armado ou protendido, junto ao mar, podem ocorrer fissuras acompanhando as armaduras, levando ao destacamento do concreto de cobrimento e à redução da durabilidade destas pontes.

A causa dessa fissuração é devida à corrosão do aço das armaduras, pois há penetração de sulfatos e cloretos na camada superficial de concreto, que acaba com a camada passivadora do aço das armaduras e é tanto maior quanto maior a porosidade e a permeabilidade do concreto de cobrimento.

Como medidas para impedir tal problema de fissuração do concreto, recomenda-se reduzir a porosidade e a permeabilidade do concreto, aumentando-se a durabilidade da estrutura.

Como medidas práticas para se elevar a durabilidade de uma ponte, citam-se: a escolha correta dos materiais; as proporções adequadas entre os diversos materiais que compõem o concreto; a mistura do concreto fresco bem feita e completa com o uso de betoneiras de mistura forçada; o transporte correto do concreto e dentro do tempo limite; o lançamento adequado do concreto; a realização de juntas de concretagem em locais adequados da estrutura; o adensamento e vibração do concreto limitado ao tempo certo e com as posições corretas do vibrador mecânico; a cura do concreto durante todo o tempo necessário à boa hidratação do cimento (pelo menos 14 dias); o uso de cinzas volantes na mistura de concreto para reduzir o calor de hidratação do cimento que pode provocar fissuras no concreto; a garantia de cobrimento mínimo do concreto de 50 mm (para armadura passiva) e de 100 mm (para as bainhas dos cabos de protensão); o uso de cordoalhas com graxa e revestidas com PEAD (polietileno de alta densidade); a avaliação da permeabilidade do concreto por meio do ensaio de penetração de água sob pressão no concreto, conforme a norma NBR 10787 (ABNT, 2011).

3.7 Poste

Na orla marítima, há postes em concreto armado usados para sinais de trânsito (semáforo), conforme ilustrado na Figura 8 e/ou para iluminação pública. Nestes elementos estruturais, é comum haver a corrosão de estribos e das barras longitudinais devido à ação de cloretos na camada passivadora da superfície das barras de aço da armadura. Com o aumento do processo de corrosão, há o destacamento do cobrimento do concreto.

A maioria dos postes em concreto armado, localizados na orla marítima, apresente corrosão das suas armaduras internas devido à ação dos cloretos contidos na maresia.

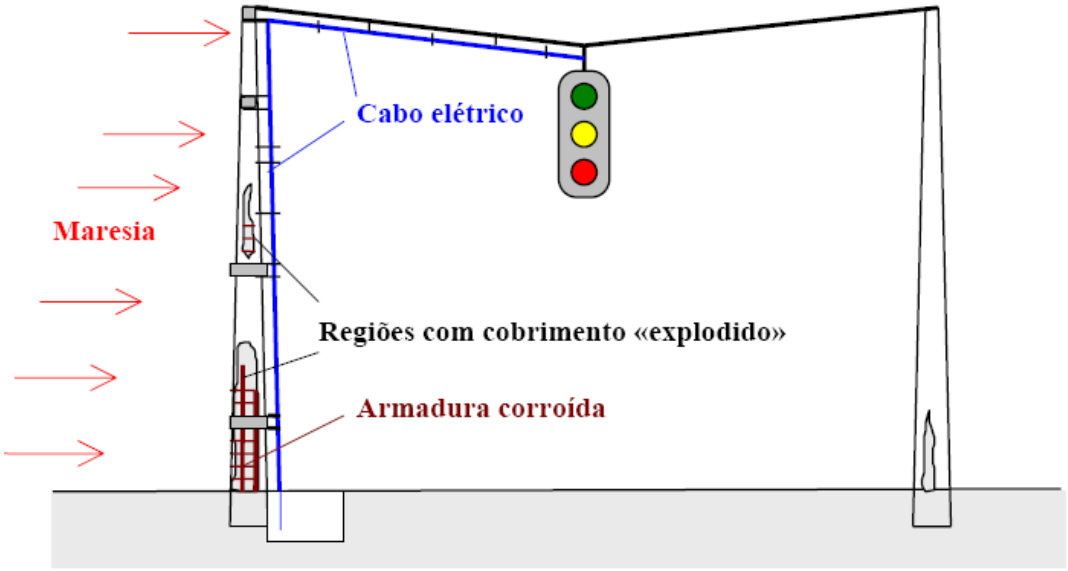
A queda do cobrimento de concreto das partes mais altas dos postes pode representar um risco para os pedestres. Notou-se, em um período de um dia, em um dos postes avaliados, o descolamento de parte do concreto de cerca de um litro, o que corresponde, aproximadamente, a 2,5 kg.

Estatisticamente, observou-se que a corrosão de postes com a finalidade de sinais de trânsito é mais acentuada. Possivelmente, correntes elétricas podem estar sendo induzidas nas armaduras, acelerando o processo de corrosão eletrolítica.

Em ambientes menos agressivos, a corrosão também ocorre nesses elementos estruturais, porém de forma mais lenta.

Para evitar a corrosão acentuada das armaduras, deve-se prever alguma proteção elétrica, devendo-se avaliar, no entanto, o fator custo-benefício desse tipo de solução.

Figura 8 – Poste de concreto armado com armaduras internas corroídas

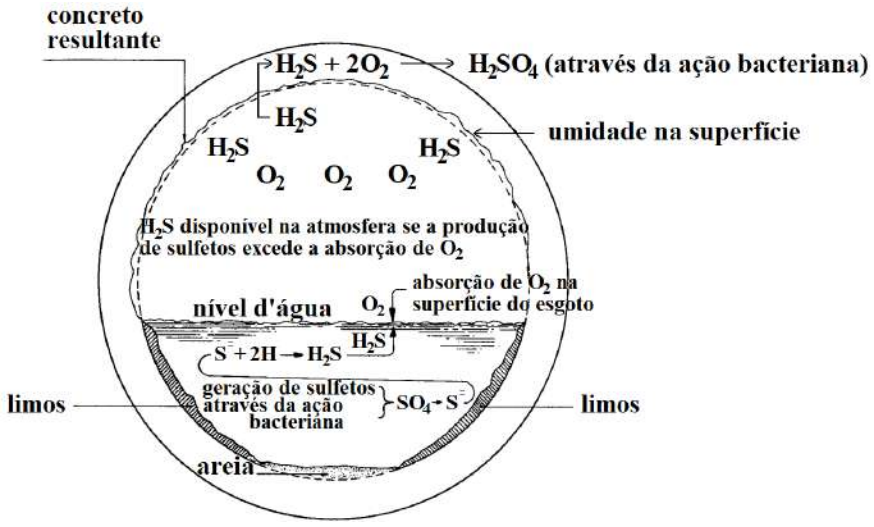


Fonte: os autores.

3.8 Tubo de rede de esgoto

A Figura 9 mostra a corrosão de um tubo em concreto armado, no qual há a formação de gesso na sua parte superior.

Figura 9 – Tubo de rede de esgoto em concreto armado corroído



Fonte: adaptado de LUDWIG e ALMEIDA (1979).

A causa dessa corrosão foi devida à ação química do gás sulfídrico sobre o concreto. A falta de ventilação permitiu o acúmulo deste gás dentro do tubo de esgoto. A ventilação forçada é difícil, pois o gás sulfídrico, a ser retirado do tubo de esgoto, tem o conhecido odor de ovo podre.

A sequência das reações químicas, de acordo com LUDWIG e ALMEIDA (1979), é a seguinte:
1) a água potável contém alguma quantidade de sulfatos, que é aumentada durante seu uso por residências e por algumas indústrias;
2) as bactérias redutoras de sulfatos necessitam de oxigênio para consumir a matéria orgânica existente na água do esgoto. Quando o oxigênio não está disponível, estas retiram o oxigênio dos íons sulfato $SO_4^{(--)}$ deixando livres os íons sulfeto $S^{(--)}$;
3) a reação do sulfeto com a água resulta no gás sulfídrico H_2S, conhecido pelo seu cheiro característico de ovo podre;
4) o gás sulfídrico liberado é absorvido pelas partes superiores do tubo de concreto, sendo novamente oxidado e transformando-se em ácido sulfúrico H_2SO_4;
5) o ácido sulfúrico H_2SO_4 ataca o concreto nas regiões superiores do tubo, transformando o hidróxido de cálcio $Ca(OH)_2$ do concreto em gesso $CaSO_4.2H_2O$. O gesso (cor branca) cristaliza na superfície do tubo de concreto (v. Figura 10).

Figura 10 – Tubo de rede de esgoto deteriorado



Fonte: GEBLER (2003).

Como solução para esse caso, pode-se usar um concreto com traço adequado, com a utilização de cimento resistente a sulfato, microssílica, superplastificante e baixa relação água-aglomerante, e proteger o concreto do tubo com o uso de um revestimento em PVC.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Apresentaram-se neste trabalho diferentes exemplos práticos de estruturas em concreto armado com fissuração do concreto decorrente da corrosão do aço de suas armaduras internas. Para recuperá-las, se faz necessário o entendimento das causas da fissuração do concreto para que se aplique a correta técnica de recuperação de estruturas em concreto armado.

Os exemplos mostrados estão situados em regiões da costa marítima, cujo o ambiente é altamente agressivo. A maresia, que contém cloretos, a alta umidade e oxigênio presentes na atmosfera são fatores que propiciam o início da corrosão.

Portanto, para evitar esse tipo de manifestação patológica nas estruturas em concreto armado, deve-se atentar quanto ao teor e tipo de cimento usado na fabricação do concreto, à execução de um detalhamento correto das armaduras internas, ao respeito do valor do cobrimento mínimo definido de acordo com cada classe de agressividade ambiental, entre outros.

REFERÊNCIAS

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10787: **Concreto endurecido — Determinação da penetração de água sob pressão**. Rio de Janeiro, 2011.

CARMONA FILHO, A., CARMONA, T. **Fissuração nas estruturas de concreto**. Boletim técnico n. 3. Asociación Latinoamericana de Control de Calidad, Patología y Recuperación de la Construcción - ALCONPAT Int, 2013.

COLLEPARDI, M. **Damage by Delayed Ettringite Formation - a holistic approach and new hypothesis**. Concrete International, v. 21, n. 1, p. 69-74, 1999.

GEBLER, S. H. **Investigating Concrete Pipelines**. Concrete International, v. 25, n. 6, p. 63-67, 2003.

LUDWIG, R. G.; ALMEIDA, S. A. S. **Controle da Corrosão por Sulfetos no Projeto de Interceptores de Esgoto**. Revista DAE, v. 34, n. 121, p. 70-81, 1979.

READING, T. J. **Combating Sulfate Attack in Corps of Engineers Concrete Construction**. SP-ACI Publication SP-47: Durability of Concrete, Paper n. SP 47-16, p. 343-366, 1975.

THOMAZ, E. C. S. **Fissuração: Casos Reais**. Disponível em <http://aquarius.ime.eb.br/~webde2/prof/ethomaz/>. Acesso em: Março 2022.