https://doi.org/10.4322/CBPAT.2022.041

CORROSÃO E PROTEÇÃO CATÓDICA DE FERRAGENS DE ESTRUTURAS DE CONCRETO

Luiz Paulo Gomes
lpgomes@iecengenharia.com.br

IEC-Instalações e Engenharia de Corrosão Ltda., Rio de Janeiro, Brasil

RESUMO

O concreto, enquanto novo e íntegro, possui pH elevado e alta resistividade elétrica. Essas características conferem excelente proteção contra a corrosão para as ferragens de aço nele embutidas. Com o passar do tempo o concreto pode absorver água, CO_2, cloretos e outros poluentes. Essa contaminação reduz o pH e a resistividade elétrica do concreto, fazendo com que as ferragens passem a operar na faixa de corrosão do Diagrama Potencial x pH, também conhecido como Diagrama de Pourbaix. Quando isso acontece o aço fica despassivado, pemitindo o funcionamento das pilhas de corrosão. Para proteger as ferragens nessas condições a única soluçâo, eficiente e econômica, consiste na utilização de anodos de proteção catódica, desenvolvidos especialmente para essa finalidade. Os anodos podem ser instalados durante a construção, durante os serviços de recuperação do concreto ou nos casos em que a corrosão ainda não aflorou mas já foi diagnosticada pelas medições dos potenciais de corrosão das ferragens, conforme a ASTM C876-15.

Palavras-chave: concreto, ferragem, corrosão, proteção catódica.

ABSTRACT

The concrete, as new and healthy, has high pH and high electrical resistivity. These characteristics provide excellent corrosion protection for the steel rebars. Over time concrete can absorb water, CO_2, chlorides and other pollutants. This contamination reduces the pH and electrical resistivity of the concrete, causing the steel rebar to operate in the corrosion range of the Potential x pH Diagram, also known as Pourbaix Diagram.

When this happens the steel becomes depassive, emitting the operation of corrosion cells. To protect the steel rebars in these conditions the only solution, efficient and economical, is the use of cathodic protection anodes, developed especially for this purpose.

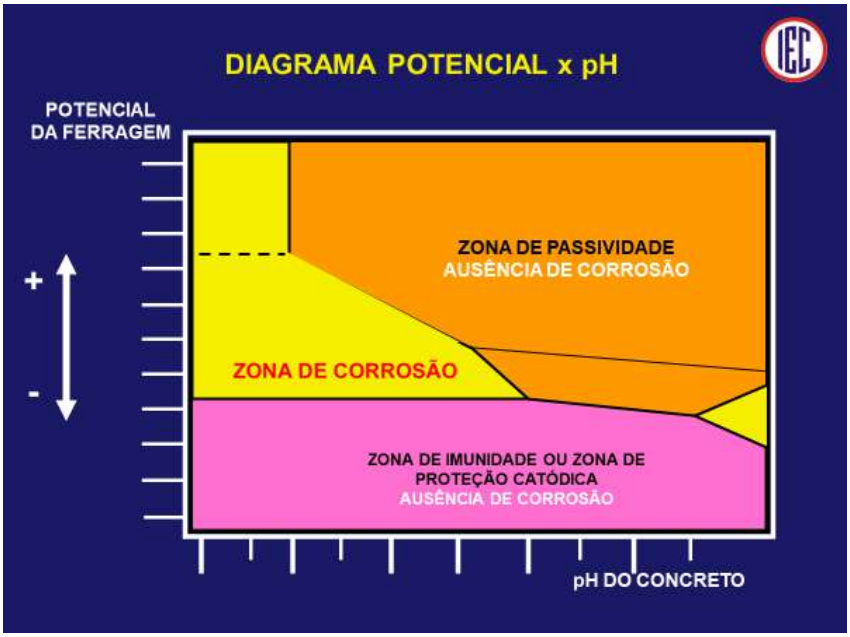
Anodes can be installed during construction, during concrete recovery services or in cases where corrosion has not yet surfaced but has already been diagnosed by measurements of steel rebar corrosion potentials, according to ASTM C876-15.

Keywords: concrete, steel rebar, corrosion, cathodic protection.

1. COMO AS FERRAGENS SE CORROEM

A absorção de água, cloretos e CO_2 é muito comum de acontecer, sendo a principal causa de deterioração por corrosão das obras de concreto.
Os cloretos estão presentes em grande quantidade nas construções marítimas e próximas à orla, sendo o principal responsável pela deterioração prematura de estruturas de concreto.
O gás carbônico, como sabemos, está presente nas atmosferas de um modo, em especial dentro das grandes cidades.
A água, os cloretos e o gás carbônico diminuem a resistividade elétrica e o pH do concreto, despassivando o aço das ferragens e permitindo que as pilhas de corrosão funcionem com facilidade, fenômeno bastante conhecido e explicado pelo Diagrama Potencial x pH ou Diagrama de Pourbaix.

Figura 1: Diagrama Potencial x pH. Para tirar a ferragem da Zona de Corrosão precisamos modificar o seu potencial em relação ao concreto e/ou aumentar o valor do pH. Isso somente pode ser conseguido com eficiência mediante instalação dos anodos de proteção catódica.



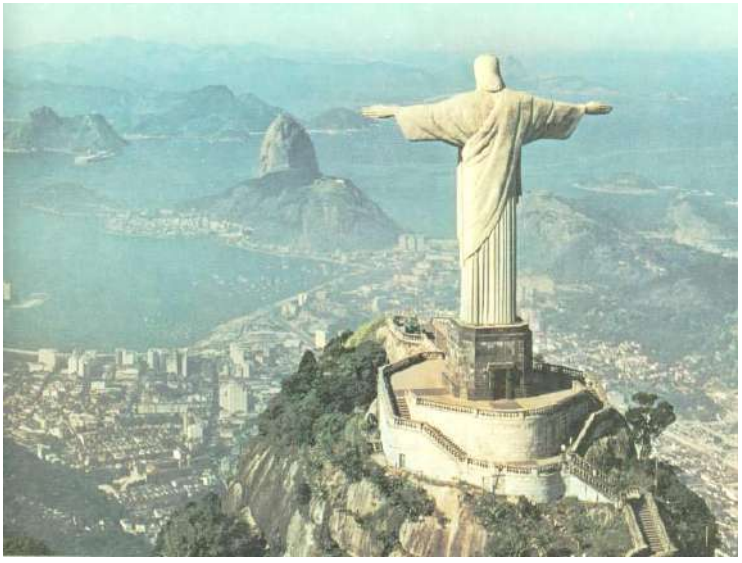
2. COMO PROTEGER AS FERRAGENS

Para proteger as ferragens contra a corrosão utilizamos os anodos de proteção catódica, que podem ser do tipo galvánico (para os sistemas de proteção catódica galvánica) ou do tipo inerte (para os sistemas de proteção catódica por corrente impressa). Os anodos foram desenvolvidos especialmente para essa finalidade e são simplesmente amarrados às ferragens.
Conforme mostrado no Diagrama Potencial x pH, a finalidade dos anodos é modificar o potencial das ferragens no campo negativo, de modo que elas deixem de trabalhar na Zona de Corrosão e passem a trabalhar na Zona de Imunidade ou Zona de Proteção Catódica. Além de modificar o potencial das ferragens a operação dos anodos produz ions OH- que aumentam o pH do concreto e contribuem para eliminar a corrosão.

Figura 2: Instalação de anodo de proteção catódica, do tipo galvánico, para a proteção contra a corrosão das ferragens de uma estrutura de concreto de um estádio de futebol, em fase de recuperação. A corrosão foi causada principalmente pela absorção de urina.



Figura 3: A estátua do Cristo Redentor, no Rio de Janeiro, possui um importante sistema de proteção catódica, do tipo por corrente impressa, para a proteção contra a corrosão das ferragens. A corrosão foi causada pela absorção de água, cloretos e CO_2.



3.MOMENTOS DE INSTALAÇÃO DOS ANODOS

Os anodos de proteção catódica podem ser instalados em três situações diferentes:
3.1-Durante a construção de estruturas novas.
3.2-Durante os trabalhos de recuperação.
3.3-Nos casos onde a corrosão ainda não aflorou, mas já está atuante.

3.1 Instalação dos anodos em estruturas novas, em fase de construção

Essa é a maneira mais simples e mais econômica de instalação dos anodos.
Nessas situações os anodos são simplesmente amarrados às ferragens, antes da concretagem, com grande facilidade e sem a necessidade de mão de obra especializada.
Estruturas de concreto construídas em locais influenciados por cloretos, como os portos, terminais marítimos, píeres de atracação, usinas de dessalinização e prédios residenciais ou comerciais próximos à orla marinha, não podem prescindir da instalação de anodos de proteção catódica já na fase de construção. O mesmo acontece com os estádios de futebol de um modo geral, onde a corrosão causada por urina acaba sendo um problema importante.
Os aditivos utilizados nesses casos não são capazes de garantir a impermeabilidade do concreto, havendo sempre a necessidade da instalação dos anodos, que conseguem garantir a proteção contra a corrosão em todos aqueles locais onde a umidade, os cloretos e o CO2 atingem as ferragens, o que sempre acontece, muito mais cedo do que se espera.

3.2 Instalação dos anodos durante os trabalhos de recuperação

Nos serviços de recuperação estrutural, a interface entre o concreto antigo e o concreto recente adiciona pilhas importantes de corrosão às ferragens. A instalação de anodos galvânicos nessas regiões é de fundamental importância para evitar novos e ainda mais severos problemas e danos por corrosão. Devemos sempre aproveitar que as ferragens estão expostas e instalar os anodos de proteção catódica, com facilidade e baixo custo, em todos os locais recuperados. Esse é o procedimiento correto e deve ser sempre adotado em todos os serviços de recuperação de estruturas de concreto, conforme orientações das normas e procedimentos técnicos que tratam do asunto (ver relação de normas no item 5).

3.3 Instalação dos anodos nos casos onde a corrosão ainda não aflorou mas já está atuante.

Os anodos também podem ser instalados sem que as ferragens estejam expostas e sem a necessidade de quebrar o concreto. Isso acontece com muita frequência, em colunas, vigas e pilares de um modo geral, onde os problemas de corrosão são diagnosticados mediante medições dos potenciais das ferragens em relação ao concreto, o chamado potencial de corrosão. Nesses casos são feitos furos na estrutura de concreto para a instalação de anodos cilíndricos, especialmente desenvolvidos para essas aplicações e os anodos são ligados eletricamente às ferragens com uma técnica especial, sem a necessidade de expor o aço.

Figura 4: Estrutura de concreta com muito pouco tempo de construida, com fissura importante causada pela corrosão das ferragens. O problema não teria acontecido se os anodos tivessem sido instalados durante a construção. Os anodos foram instalados durante os serviços de recuperação da estrutura.



Figura 5: Instalação dos anodos (peças vermelhas) durante os serviços de recuperação de uma ponte sobre o mar. Notar que os anodos são simplesmente amarrados às ferragens, antes da concretagem.



Figura 6: Recuperação estrutural de um pilar com a utilização de anodos galvánicos (peças verdes) para a proteção contra a corrosão das ferragens. Os anodos, mais uma vez, foram simplesmente amarrados às ferragens antes a concretagem.



Figura 7: Instalação de anodos galvânicos cilíndricos em um pilar de uma importante estructura de concreto, onde a corrosão foi diagnosticada com o auxílio das medições dos potenciais de corrosão das ferragens em relação ao concreto, de acordo com o procedimiento recomendado pela ASTM C876-15. A instalação dos anodos garantiu a integridade do pilar, sem a necessidade de serviços de recuperação estrutural.



4.MEDIÇÕES DOS POTENCIAIS DE CORROSÃO DAS FERRAGENS

Para a avaliação e estudo da corrosão das ferragens utilizamos sempre a análise dos potencias de corrosão, medidas com o auxílio de um voltímetro de alta impedância e um eletrodo de referência de Cu/CuSO4, conforme ASTM C876-15 (Standard Test Method for Corrosion Potentials Uncoalted Reinforced Steel in Concrete).

Nesses casos, as seguintes situações podem ocorrer:
4.1-Potencial mais negativo que -350mV (alto risco de corrosão, corrosão ativa).
4.2-Potencial entre -350mV e -200mV (maior ou menor risco de corrosão).
4.3-Potencial menos negativo que -200mV (baixo risco de corrosão, ferragem passivada)

Figura 8: Medição do potencial de corrosão das ferragens com o auxilio de um votímetro de alta impedância e um eletrodo de referencia de Cu/CuSO4 (ASTM C876-15)



5.NORMAS E RECOMENDAÇÕES TÉCNICAS

Ainda não existe uma norma técnicas brasileira para a proteção catódica de estruturas de concreto. As normas ABNT de proteção catódica, até o momento, tratam principalmente da proteção catódica de dutos de aço enterrados ou submersos, como os oleodutos, gasodutos, adutoras, alcooldutos, querodutos, minerodutos, polidutos e tubulações industriais de um modo geral.
Para o caso das estruturas de concreto temos utilizado em nossos trabalhos de medições de campo, projeto, fornecimento e instalação dos anodos as seguintes normas internacionais:

5.1-ASTM C 876-15 (Standard Test Method for Corrosion Potentials Uncoalted Reinforced Steel in Concrete).
5.2-ISO12696:2016 (Cathodic Protection of Steel in Concrete)
5.3-NACE SP0187-2017 (Design for Corrosion Control of Reinforcing Steel in Concrete)
5.4-NACE SP0112-2017 (Corrosion Management of Atmosferic Exposed Reinforced Concrete Structures)
5.5-NACE SP0290-2007 (Impressed Current Cathodic Protection of Reinforcing Steel in Atmosfhericaly Exposed Concrete Structures)

6.6-NACE SP0408 (Cathodic Protection of Reinforcing Steel in Buried or Submerged Concrete Structures).

6.PROCEDIMENTO RECOMENDADO

O procedimento que temos utilizado com frequência e que recomendamos adotar para o estudo, projeto, fornecimento e instalação dos anodos de proteção catódica em uma determinada estrutura de concreto é o seguinte:

6.1-Primeira Etapa: análise dos desenhos, inspeção visual, medições dos potenciais das ferragens e demais medições de campo quando necessário.

6.2-Segunda Etapa: análise das informações de campo e elaboração do projeto de proteção catódica, com definição do tipo de proteção a ser utilizado (galvânico ou corrente impressa), especificação dos materiais, desenhos e instruções de instalação.

6.3-Terceira Etapa: fornecimento e instalação dos anodos, incluido a emissão dos Certificados de Garantia.

7.CONCLUSÕES

Os problemas de corrosão em estruturas de concreto são bastante frequentes e precisam ser estudados com cuidado, sendo importante que sejam diagnosticados corretamente.

A utilização de proteção catódica com o uso de anodos galvânicos (proteção catódica galvânica) ou com anodos inertes e retificadores de corrente (proteção catódica por corrente impressa) é a única solução capaz de eliminar a corrosão das ferragens e garantir resultados totalmente confiáveis, independientemente do nivel de contaminação por água, cloretos e CO_2 .

A instalação de proteção catódica pode sempre ser complementada com outros métodos de proteção contra a corrosão, como a utilização de concretos especiais, impermeabilizantes, inibidores de corrosã, pintura e galvanização das armaduras, mas é a única solução que pode ser utilizada isoladamente com segurança e total garantia, sem a utilização de qualquer outra medida de proteção.

A instalação de anodos galvânicos é sempre recomendada em todas as atividades de recuperação estrutural e de extrema importância para evitar a continuidade dos processos corrosivos em estruturas de concreto de um modo geral, antes mesmo que os primeiros sinais de deterioração comecem a aparecer.

Nessas situações as medições dos potenciais de corrosão são de extrema importância para o estudo e elaboração de um diagnóstico preciso.

REFERÊNCIAS

[1] GOMES, LUIZ PAULO, Livro **Sistemas de Proteção Catódica**, Rio de Janeiro, Editora Interciência, 2020, 351 Páginas, Segunda Edição, Capítulo 17.

[2] GENTIL, VICENTE, Livro **Corrosão.** Rio de Janeiro, Editora LTC, 2011, 360 Páginas, Sexta Edição. Capítulos 17 e 25.

[3] GOMES, LUIZ PAULO, Artigo Técnico **How to Preserve Concrete Structures With Galvanic Anodes for Cathodic Protection,** Revista IPCM-Protective Coatings, Edição EEUU e Canadá, 2018.

[4] GOMES, LUIZ PAULO, Artigo Técnico **Come Preservare le Struture in Cemento con Gli Anodi Galvanici di Protezione Catodica,** Revista IPCM-Protective Coatings, Edição Italiana, 2018.

[5] GOMES, LUIZ PAULO, Artigo Técnico **Cómo Mantener las Estructuras de Hormigón con Ánodos Galvánicos de Protection Catódica,** Revista IPCM-Protective Coatings, Edição América Latina, October 2018.

[6] GOMES, LUIZ PAULO, Artigo Técnico **Corrosão e Proteção Catódica de Armaduras de Aço,** Revista Concreto & Construções, IBRACON, 2020.

[7] GOMES, LUIZ PAULO, Artigo Técnico **Utilização de Anodos Galvânicos para a Proteção Catódica de Armaduras de Reforço de Estruturas de Concreto** , Revista Corrosão & Proteção, ABRACO-Associação Brasileira de Corrosão, 2017.