

TÉCNICAS ELETROQUÍMICAS APLICÁVEIS EM ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO E PROTENDIDO: ESTADO DA ARTE

*Kleyton de Oliveira Lima¹
Fábio Sergio da Costa Pereira²*

RESUMO

A preocupação com a corrosão é relevante quando se fala em proteção de armaduras em estruturas de concreto armado ou protendido. O objetivo deste artigo é apresentar os tipos e o funcionamento das técnicas eletroquímicas, bem como suas aplicações em estruturas no Rio Grande do Norte –Brasil, e no exterior. As técnicas eletroquímicas são as mais recomendadas para este fim, tanto para evitar a corrosão prematura como para diminuir um processo corrosivo em curso. Tais técnicas são classificadas em proteção catódica, corrente impressa, realcalinização do concreto e extração de cloretos. As aplicações dessas técnicas já são uma realidade no que diz respeito às proteções em áreas náuticas e condutos para transporte de fluidos, no entanto na área da construção civil não se tem a cultura de execução destas técnicas. Mesmo edificações novas já deveriam contemplar em seus projetos esse tipo de prevenção, uma vez que o custo-benefício a longo prazo é muito mais vantajoso. Esse tipo de proteção garante um tempo de vida útil muito maior em relação àquelas estruturas que não a utilizam e a aplicação das técnicas de proteção são bem mais utilizadas. O custo final será um pouco mais caro, mas não tão discrepante dos preços adotados pelo mercado.

Palavras-chave: Técnicas eletroquímicas. Proteção catódica. Concreto.

ELECTROCHEMICAL TECHNIQUES APPLICABLE IN REINFORCED AND PROTECTED CONCRETE STRUCTURES: STATE OF THE ART

ABSTRACT

Concern with corrosion is relevant when it comes to the protection of iron frames in reinforced concrete structures. This article aims at presenting the types and operation of electrochemical techniques as well as their applications in structures in Rio Grande do Norte –Brazil, and abroad. Electrochemical techniques are the most highly recommended for this purpose, both to prevent premature corrosion and to reduce ongoing corrosive processes. Such techniques are classified as cathodic protection, printed current, realcalization of

-
- 1 Discente do curso de Engenharia Civil do Centro Universitário do Rio Grande do Norte (UNI-RN), kleyton_lima@outlook.com.br. Endereço para acessar este CV: <http://lattes.cnpq.br/5514782913417573>.
 - 2 DocentePHd. do Curso de Engenharia Civil do Centro Universitário do Rio Grande do Norte (UNI-RN). engecal.fabio@gmail.com. Endereço para acessar este CV: <http://lattes.cnpq.br/6695109770318583>

the concrete, and extraction of chlorides. Applications of these techniques already exist for protection in nautical areas and conduits for fluid transportation. However, the use of these techniques has not permeated the building culture in civil construction. New buildings should already have this type of prevention included in their projects as cost benefit in the long term is far more advantageous. Such prevention ensures a longer useful life when compared to structures that do not use it. The final cost will be slightly higher, though less discrepant than prices adopted by the market.

Keywords: Electrochemical techniques. Cathodic protection. Concrete.

1 INTRODUÇÃO

A técnica de proteção catódica é mais utilizada em estruturas metálicas, submersas e enterradas sendo bastante utilizada para construção de cascos de navio e de tubulações enterradas, por serem ambientes muito agressivos, mas há algum tempo ela passou a ser utilizada como reabilitação de estruturas de concreto deteriorada, e devido sua eficácia está passando a serem adotadas como método de prevenção em estruturas novas, tais usos podem ser em estruturas parciais ou totais enterradas ou em estruturas atmosféricas, sendo de concreto armado ou protendido e estruturas antigas durante os serviços de recuperação e reforço estrutural (ARAÚJO; PANOSSIAN; LOURENÇO, 2014)

2 PROTEÇÃO CATÓDICA

A proteção catódica é uma técnica utilizada para controlar a corrosão de uma superfície metálica tomando-a o cátodo de uma célula eletroquímica. Um método simples de proteção aonde se conecta o metal a ser protegido a um “metal de sacrifício” mais facilmente corrosível para atuar como anodo. O metal de sacrifício então é corroído no lugar do metal protegido.

3 TÉCNICAS ELETROQUÍMICAS

3.1 PROTEÇÃO CATÓDICA GALVÂNICA

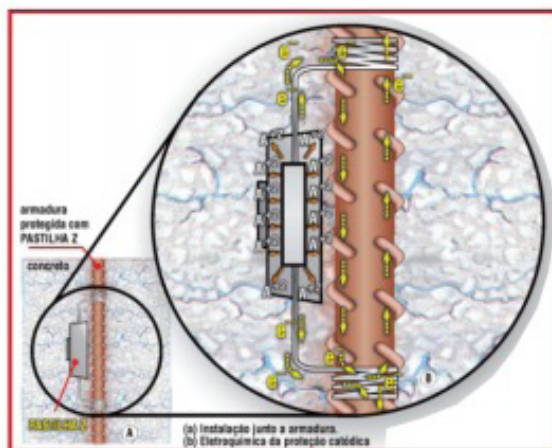
Os anodos galvânicos, ou anodos de sacrifício, **são normalmente** os escolhidos quando se precisa de pouca quantidade de corrente para proteger a estrutura (revestimento de boa qualidade e estruturas de pequenas dimensões) e quando o solo possui baixa resistividade elétrica.

3.1.1 Pastilha

A forma mais comum do anodo de sacrifício é a pastilha. Ela é composta por uma “bolacha” de zinco, alumínio e índio ou só de zinco ou só de alumínio, ligada a dois fios para fixação no aço da estrutura e revestida

por uma matriz cimentícia iônica condutiva. Para sua instalação é necessário apenas retirar a carepa de corrosão do aço através de limpeza com escova de aço ou com lixa de ferro número 100, analisando se o aço perdeu ou não 10% de sua seção; caso tenha perdido, será necessário fazer um reforço com nova(s) barra(s) com o mesmo diâmetro da barra inicial. O importante é fazer excelente limpeza nos pontos onde as pastilhas serão ligadas a armadura, pois se necessita de um perfeito contato metálico para possibilitar as passagens de elétrons. Uma vez interligada, ocorrerá o processo de oxi-redução, onde a pastilha será o anodo e o aço o catodo (ANDRADE, 2014). (Figura1)

Figura 1 – Esquema da armadura protegida por pastilha



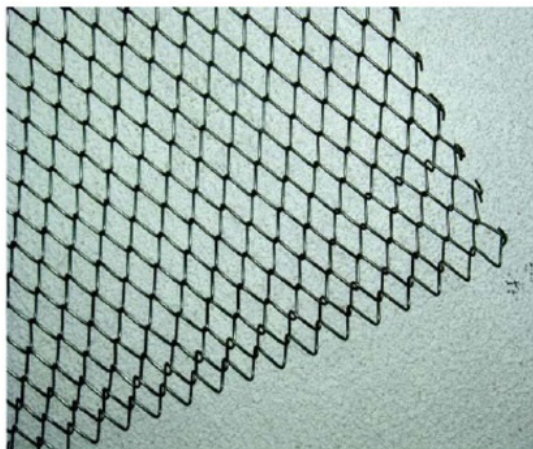
Fonte: SA Soluções de Engenharias, 2014

3.1.2 Tela Galvânica

A melhor solução contra a corrosão de armaduras em grandes áreas de estruturas de concreto armado ou protendido é a tela galvânica (Figura 2). É uma proteção catódica por corrente galvânica que lhe dá o melhor custo-benefício em uma obra de recuperação motivada por corrosão. Garante um tempo superior a dez anos contra qualquer processo de corrosão. Com uma semi-pilha comum faz-se teste dos potenciais de corrosão antes da instalação da tela e os potenciais de proteção (zona de imunidade) após sua

instalação. O uso do ativador eletroquímico ativa a argamassa ou concreto de recuperação a ser aplicado sobre ela, favorecendo uma troca galvânica entre a tela e a armadura, de forma constante e ininterrupta, impedindo o aço de corroer (ROGERTEC, 2017)

Figura 2 – Tela Galvânica

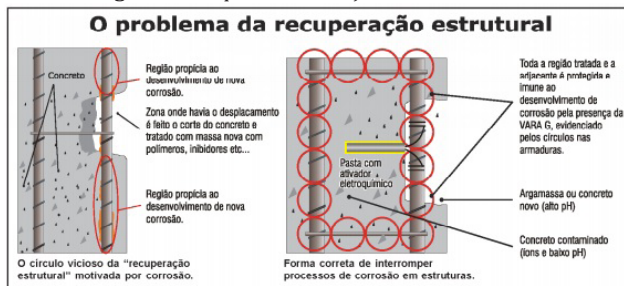


Fonte: ROGERTEC

3.1.3 Vara Galvânica

A técnica de Vara Galvânica é utilizada quando ao realizar a medição de corrosão do aço com semi-pilha de cobre e sulfato de cobre e fazendo a ligação da linha equipotencial, na qual podendo ver pontos do concreto que está em estado de corrosão, mas ainda não entrou em processo de deterioração. Na qual o processo para aplicação é perfurar o concreto de forma inclinada vertendo-o dentro com pasta de cimento contendo ativador eletroquímico para baixar a resistividade e facilitar a troca iônica com o aço estrutural para o anodo, inserindo a vara no concreto fazendo a amarração na armação, e com essa técnica (Figura 3) estará prevenindo que o concreto entre em estado de ruína, pois mesmo que tenha iniciado o processo de corrosão mais não ao ponto de expandir suficiente para danificar o concreto, evitando deste modo, que exista a necessidade de recuperação de estrutura.

Figura 3 – Esquema de atuação da Vara Galvânica



Fonte: ROGERTEC

3.1.4 Zinco Termo Projetado (ZTP)

O ZTP consiste na projeção térmica de zinco puro sobre a superfície do concreto em direção as armaduras (Figura 4) que necessitam de proteção contra a corrosão. Todo o serviço de recuperação da estrutura estará simplificado porque após a remoção do concreto deteriorado, e execução do reforço estrutural (se necessário), faz-se uma limpeza da área a ser recuperada e logo após aplica-se o zinco termo projetado com um gerador/retificador e uma pistola especial que provoca a fusão de dois fios de puro zinco ao mesmo tempo em que um jato de ar comprimido projeta o zinco derretido sobre a superfície do concreto. Então o zinco, funciona como anodo de sacrifício garantindo a proteção das armaduras.

Figura 4 – Aplicação de película de ZTP



Fonte: ROCHA, 2000, p.15

3.2 PROTEÇÃO CATÓDICA POR CORRENTE IMPRESSA

O sistema de proteção catódica por corrente impressa é aquele que utiliza uma força eletromotriz, proveniente de uma fonte de corrente contínua, para imprimir a corrente necessária à proteção da estrutura considerada. Esta força eletromotriz pode provir de baterias convencionais, baterias solares, termogeradores, conjuntos motor-gerador ou retificadores de corrente. Os retificadores constituem a fonte mais frequentemente utilizada, e através deles retifica-se uma corrente alternada, obtendo-se uma corrente contínua que é injetada no circuito de proteção.

Como a diferença de potência de saída da fonte pode ser estipulada em valores baixos ou elevados, a proteção catódica por corrente impressa aplica-se a estruturas situadas em eletrólitos de baixa, média e alta resistividade. Também ela é aplicada onde se exige maiores correntes, portanto, em estruturas de média para grande porte o que não impede o seu uso em estruturas pequenas, quando houver conveniência.

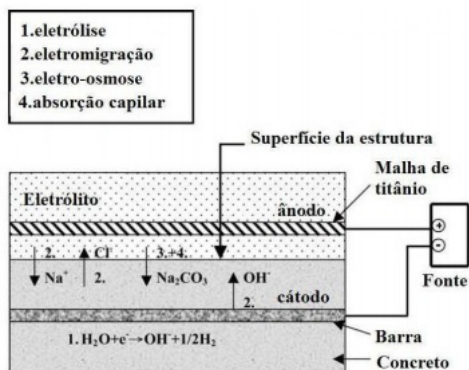
Os equipamentos e materiais comumente empregados nos sistemas por corrente impressa são:

- Os retificadores, que podem ser de silício ou selênio, refrigeradores a ar ou a óleo, com alimentação monofásica ou trifásica;
- Como alternativas aos retificadores, podem ser usadas baterias solares, termogeradores, baterias convencionais, empregada onde não haja energia elétrica em corrente alternada. Esses geradores, em geral, são de baixa potência, sendo, portanto restritos a locais de pouca exigência de corrente.
- Os ânodos mais empregados são os de grafite, ferro-silício, ferro-silício-cromo, chumbo-antimônio-prata, titânio platinizado, nióbio platinizado e magnetita. Os ânodos de grafite, ferro-silício e magnetita são geralmente usados em solos e os demais usados em água do mar.
- Os cabos para interligação dos ânodos e ligação na estrutura devem ser cabos de cobre com capacidade de condução adequada ao sistema e com isolamento de boa qualidade, em geral de polietileno de alta densidade e alto peso molecular (TRABALHO..., 2017).

4 REALCALINIZAÇÃO DE CONCRETO

É um método não destrutivo que tem por objetivo permitir que concreto carbonatado readquira uma condição suficientemente alcalina para que o restabelecimento e manutenção da camada passivadora de óxido de ferro sobre a superfície das armaduras sem que com isso seja necessário a remoção do concreto. E sua aplicação consiste de um campo elétrico entre a armadura da estrutura e um ânodo externo na presença de uma solução alcalina (Figura 5), com o objetivo de restabelecer a alcalinidade do concreto perdida com o processo de carbonatação, apresentando as vantagens de ser um processo temporário e não destrutivo, visto que não há necessidade de romper estruturalmente o concreto velho (REUS, et al, 2015).

Figura 5 – Esquema de atuação da técnica de realcalinização de concreto



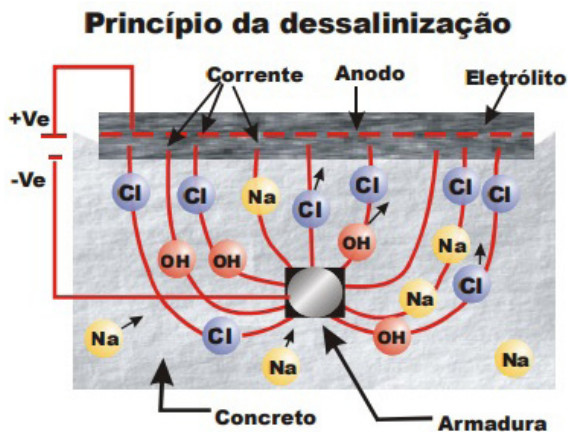
Fonte: (YEIH; CHANG, 2005) com adaptação de (REUS, et al, 2015).

5 EXTRAÇÃO DE CLORETO

A remoção eletroquímica de cloretos ou extração de cloreto objetiva remover os íons cloreto do interior do concreto é um método com processo simples (Figura 6), em que os íons de cloreto são transportados para fora da peça por migração. Durante o tratamento ocorre: a migração de cátions para as armaduras, migração de ânions para um eletrodo externo (malha metálica) e produção de íons hidroxila nas superfícies das armaduras como consequência da reação catódica.

O tratamento é efetuado pela aplicação de um campo elétrico entre as armaduras no interior do concreto e um eletrodo constituído por uma malha metálica fixada externamente à superfície do concreto (Figura 7) e colocada no interior de um reservatório eletrolítico (POLITO, 2016).

Figura 6 – Princípio da dessalinização



Fonte: POLITO, 2016

Figura 7- Detalhe da fixação do anodo (tela externa) e dos



Fonte: POLITO, 2016

6 APLICAÇÕES

6.1 NO CRISTO REDENTOR

Para garantir a melhor conservação, foi utilizada a tecnologia que é utilizada na extração de petróleo e na construção de navios e levá-la para o monumento. Uma tela de titânio — doada pela empresa norte-americana Corrpro Inc. — revestiu todo o interior da estátua. Trata-se da proteção catódica, fundamental para a conservação do monumento, pois combate um poderoso inimigo: o sal.

A argamassa que forma o Cristo é uma eficiente mistura de areia, açúcar e óleo de baleia. Comum à época da sua construção, a composição carrega também um componente muito agressivo: o cloreto de sódio. Ao longo dos anos, o sal da argamassa estava oxidando a estrutura metálica que sustenta o concreto.

A proteção catódica entra em ação quando a tela é eletrificada. Ela ganha carga positiva e atrai as partículas de cloreto de sódio — isto é, o sal — que são negativas. Dessa forma, a estrutura metálica que sustenta a estátua fica livre da ação desse agente corrosivo, que passa a se alojar em torno da proteção catódica (MUNDO DA CONSTRUÇÃO).

Figura 8 – Cristo Redentor



Fonte: Visit Rio de Janeiro City (MUNDO...).

6.2 NO EXTERIOR

A aplicação das técnicas de proteção são bem mais utilizadas como no caso da ponte san Leandro na california (Figura 9), que foi realizada uma recuperação das colunas, assim como foi utilizada no velódromo San Cristobal (Figura 10), aplicando anodos galvânicos embutidos para reparação de concreto. Outra aplicação nos EUA foi a ponte de Long Island (Figura 11) na qual foi utilizado o sistema de protenção galvânica para pilares de concreto em ambiente marinho e em Portugal no porto Aveiro foi instalado a proteção (Figura 12) nas zonas de maré e de respingos da viga frontal do cais, considerada de maior risco de corrosão devido a proximidade com a água.

Figura 9 – Recuperação de Colunas da Ponte San Leandro, Califórnia



Fonte: WHITMORE (2017)

Figura 10 – J J Velodrome San Cristobal, Venezuela



Fonte: GALVASHIELD, 2017

Figura 11 –Robert Moses Causeway Long Island, NY



Fonte: GALVASHIELD, 2017

Figura 12 – Instalação das fitas (A) e concretagem (B)



Fonte: ARAUJO, 2014

6.3 APLICAÇÕES NO RN

A sua aplicação em estruturas de concreto armado no Rio Grande do Norte foi mais uma vez pioneira no Brasil. O caso onde foi aplicada a proteção catódica através do ZTP foi um reservatório apoiado com capacidade de 1.700 m³ e constituído de duas câmaras iguais, de propriedade da CAERN - Companhia de Águas e Esgotos do RN. O reservatório fica localizado na cidade de Macau-RN,

que tem como característica estar situada numa região litorânea produtora de sal e, conseqüentemente, com alto grau de salinidade no meio ambiente. Internamente a agressividade na estrutura de cobertura era ainda mais intensa em decorrência da evaporação de ar com alto teor de cloretos proveniente do tratamento d'água por cloração diretamente no reservatório. Embora a proposição inicial da ENGECAL, fosse a recuperação pelo processo tradicional de hidrojetamento e aplicação de concreto projetado, houve posterior opção para, executar os serviços com a aplicação de uma película de zinco termo projetado, seguida da aplicação de uma pintura protetora de epóxi, devido a agressividade do ambiente citada anteriormente. Após a sua aplicação foi feita uma análise do concreto projetado tradicional que estava sendo realizado nas marquises do estádio João Machado na mesma época e o zinco termo projetado.

Figura 13– Aplicação da tecnica de ZTP no reservatorio de água



Fonte: Elaborado pelos autores

Figura 14–Equipamento para aplicação da tecnica de ZTP



Fonte: Elaborado pelos Autores

Podendo concluir que as aplicações em estrutura de concreto armado e protendido são em sua maioria galvânica e ZPT, as aplicações de corrente impressa, remoção de cloreto e realcalinação de concreto inexistem no Brasil.

7 CONCLUSÕES

As técnicas eletroquímicas, como podemos perceber pelos exemplos descritos, são perfeitamente aplicáveis em obras de construções civil, atuando como forma de proteção e prevenção para evitar a deterioração prematura e prolongar o tempo de vida útil de estruturas de concreto armado e protendido, e em serviços de recuperação e reforço estrutural que necessitam de um aumento da durabilidade de seus componentes estruturais principalmente em locais como as classes de agressividades Três e Quatro prescritas na NBR 6118. Tornando extremamente vantajoso economicamente os seus usos, obtendo um maior custo benefício em longo prazo. Infelizmente no Brasil estas técnicas ainda não são vistas pela comunidade da construção civil como solução disseminada, já que ela inicialmente gera um custo adicional no orçamento da obra em execução ou de recuperação/ reforço estrutural, fator este erroneamente aplicado no Brasil pelas empresas e órgãos públicos.

9 REFERÊNCIAS

ANDRADE S. **Você realmente sabe como atua a proteção catódica no concreto armado/protendido?** São Paulo, IPT, 2014.

ARAÚJO, A.; PANOSSIAN Z.; LOURENÇO Z. **Proteção catódica de estruturas de concreto.** Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), Laboratórios de corrosão e Proteção. São Paulo, 2014.

GALVASHIELD: unidades galvânicas de ânodo embutidos Disponível em: <http://www.parchem.com.au/public/pdfs/data-sheets/Galvashield-XP-Range-TDS.pdf>. Acesso em: 10 maio 2017.

MUNDO DA CONSTRUÇÃO: Cristo Redentor. Disponível em: <http://www.visitriodejaneiro.city/pt-br/;http://mundodaconstrucao.blogspot.com.br/2019/8/cristo-redentor.html>. Acesso em: 13 maio 2017.

POLITO, G. **Corrosão em estruturas de concreto armado**: causas, mecanismos, prevenção e recuperação. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2016.

REUS, G. C. et al. [BECKER, A. C. C.; RAISDORFER, J.; SOUZA, D. J.; CEZARIO, H. C.; LENCZUK, B. S. T.; NIKKEL, S.; RODRIGUES, D. S.; MEDEIROS, M. H. F.]. **Aplicação de soluções alcalinas para realcalinização de concretos carbonatados**: uma alternativa para pontes de concreto armado. Foz do Iguaçu, 2015.

ROCHA filme. **Película de segurança**. Disponível em: <http://www.rochafilm.com.br/>. Acesso em: mar.2017.

ROGERTEC. Tela Galvanica G. Rio de Janeiro, 2017.

TRABALHO Experimental: Proteção Catódica. Disponível em: www.dfq.pucminas.br/apostilas/eng_quimica/quimica_pratica15.doc com. Acesso em: 10 maio 2017.

WHITMORE: CSW Industrials Company. Disponível: <https://translate.google.com.br/translate?hl=pt-BR&sl=en&u=http://www.whitmores.com/&prev=search>. Acesso em: 10 maio 2017.