



## REABILITAÇÃO DE UMA ESTRUTURA MARÍTIMA UTILIZANDO PROTECÇÃO CATÓDICA PORTO DE BRISBANE, AUSTRÁLIA

**Zita LOURENÇO**  
*ZetaCorr Lda*  
Cascais

**Ian GODSON**  
Savcor Pty Ltd  
Austrália

### SUMÁRIO

Um dos maiores projectos mundiais de aplicação de protecção catódica a estruturas de betão armado foi realizado no Porto de Brisbane, Austrália. O projecto de reabilitação dos cais 4 & 5 deste porto foi motivado pelo elevado nível de deterioração apresentado por alguns dos elementos destes cais, devido à corrosão das armaduras induzida pela contaminação do betão por cloretos provenientes da água do mar. Antes de se iniciar o processo de reparação foi realizado um extensivo estudo de diagnóstico das condições existentes, que teve como finalidade seleccionar as técnicas de reabilitação mais económicas e eficazes para manter estas estruturas operacionais durante mais 40 anos com mínima manutenção. Uma das condições impostas pela autoridade portuária era de que estes cais continuassem completamente operacionais durante a reparação. Esta condição era particularmente crítica uma vez que nestes cais de contentores operam 3 guias de 1000 toneladas cada. Para obedecer a esses critérios varias técnicas foram consideradas, contudo a aplicação de protecção catódica foi seleccionada como a melhor solução a utilizar para os elementos que apresentavam maior deterioração ou em que o ingresso de cloretos era já bastante elevado.

Nesta comunicação descreve-se sumariamente o estudo realizado para fazer o diagnóstico do estado da estrutura, a filosofia do projecto de reabilitação e apresenta-se uma descrição mais detalhada do projecto, instalação e comissionamento do sistema de protecção catódica utilizado.

### 1 A SITUAÇÃO EM 1996

Os cais 4 & 5 do porto de Brisbane na Austrália, foram construídos em 1979-1980 formando no total um cais de contentores de 600 m de comprimento. Neste cais operam 3 guias de 1000 toneladas cada que se deslocam constantemente ao longo do cais. A estrutura é constituída por vigas e tabuleiro de betão armado betonados in-situ e assentes sobre estacas metálicas (Figura 1).

Em 1994 foi detectada deterioração bastante elevada em algumas partes do cais. O tipo de deterioração mais evidente foi a delaminação do betão de recobrimento e armaduras expostas. A deterioração era particularmente evidente nas partes que se encontram mais expostas à acção da maré; a parte inferior das vigas de apoio às guias, o elemento de encontro do tabuleiro e a parede frontal de resguardo. Foi então iniciado um plano de manutenção para o cais que tinha como objectivo encontrar um método de reabilitação que atendesse aos requisitos da autoridade portuária, PBC, que consistiam em:

- Encontrar a solução economicamente e tecnicamente mais viável;
- Manter o cais operacional durante mais 40 anos com manutenção mínima e de modo evitar o propagar da deterioração;

- A solução escolhida teria de ser implementada de modo a não interferir com a operação do porto.

Para investigar a metodologia de reabilitação mais apropriada foram realizados vários testes de reparação, que incluíram métodos de reparação tradicional de remoção total da camada superficial do betão e a sua substituição e a aplicação de protecção catódica. Estes testes indicaram que a reparação tradicional de remoção total da camada superficial não era apropriada devido à duvidosa qualidade obtida e também devido à interferência que uma reparação deste tipo iria causar ao normal funcionamento do porto. Embora a reparação localizada de estruturas contaminadas por cloretos seja uma técnica bastante utilizada, é uma técnica pouco eficaz a longo prazo. Isto porque, se a reparação não remover todo o betão que está contaminado por cloretos, novas áreas de corrosão são formadas nas regiões adjacentes às zonas reparadas, designadas por ânodos insipientes [1], dando assim continuação á deterioração. Nesta estrutura a remoção total da camada de recobrimento iria causar enfraquecimento estrutural das vigas e consequentemente interferir com a operacionalidade das guias uma vez que parte do cais teria de ficar inoperacional durante a reparação.

Durante a realização do teste piloto de protecção catódica foram realizados “dynamic load testing” para investigar se as guias poderiam ou não continuar a operar durante a reparação. O resultado dos testes demonstrou que este método de reparação não interferiria com a operação do porto. Assim, a protecção catódica foi então seleccionada como a técnica mais apropriada para a reabilitação das partes mais deterioradas do cais.

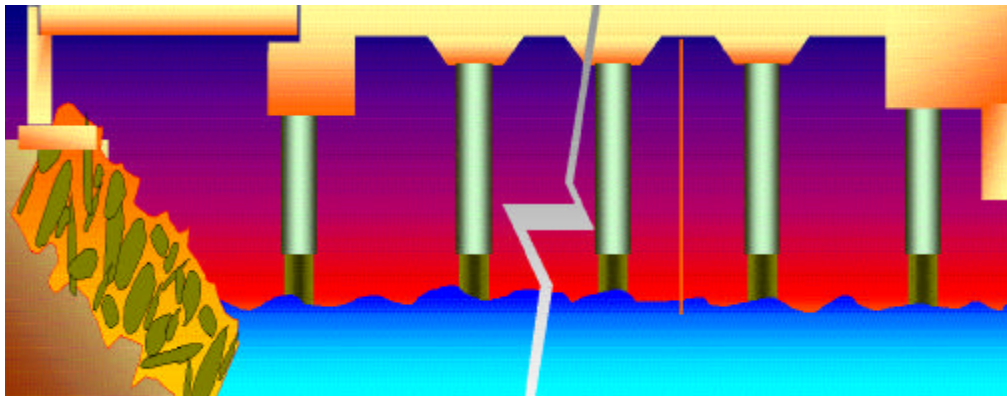


Figura 1- Diagrama ilustrativo da constituição do cais.

## 2 PROTECÇÃO CATÓDICA- VANTAGENS E PRINCIPIO

A maior vantagem na utilização de protecção catódica neste projecto era a de reduzir a quantidade e a profundidade de betão a remover. A protecção catódica é uma técnica electroquímica em que se utiliza corrente continua de baixa intensidade para reduzir ou eliminar a corrosão. Quando da aplicação de protecção catódica só é necessário remover e repor o betão nas áreas que se encontram delaminadas e ou com as armaduras expostas. O betão contaminado por cloretos não necessita de ser removido desde que esteja são, minimizando-se assim o enfraquecimento das estruturas.

O objectivo da protecção catódica (PC) é de prevenir ou eliminar a corrosão das armaduras, tornando o potencial eléctrico do aço mais negativo, i.e. catódico. O abaixamento do potencial eléctrico do aço é obtido através da passagem duma corrente continua de baixa intensidade, de

um ânodo exterior através do betão para o aço. A densidade da corrente necessária é da ordem de 2-20 mA/m<sup>2</sup> de metal a proteger e poder ser aplicada de duas maneiras: 1) ligando o aço a um ânodo sacrificial, que se dissipa gradualmente - ânodos sacrificiais; 2) ou usando um ânodo inerte e uma fonte externa de alimentação- corrente imposta ou impressa.

Os componentes básicos de um sistema de protecção catódica por corrente imposta são: ânodo, cátodo (armaduras), betão (electrólito) e a fonte de alimentação. Para além de inverter o processo da corrosão, a passagem da corrente eléctrica também induz outras modificações químicas no betão, que ocorrem principalmente perto do ânodo e das armaduras. As reacções principais que ocorrem na interface armadura/betão são a redução do oxigénio e/ou da água com formação de hidróxidos que vão aumentar a alcalinidade do betão junto às armaduras. Também como resultado da tensão aplicada, os iões negativos (cloretos, hidróxidos, sulfatos) são repelidos pelo cátodo (armaduras) e os iões positivos são repelidos pelo ânodo resultando numa diminuição de cloretos ao nível das armaduras. Assim, o efeito da aplicação de protecção catódica não é só o da eliminação ou redução da corrosão, mas também o da restauração da alcalinidade e da remoção dos cloretos.

A primeira aplicação de protecção catódica data do início dos anos 70 [2] e desde então, a PC tornou-se uma das técnicas mais valiosas para a reabilitação de estruturas de betão armado sofrendo de corrosão induzida por cloretos. Esta técnica tem sido utilizada para reparar muitos e variados tipos de estruturas, tais como: parques de estacionamento, edifícios, chaminés, pontes, portos e cais, e outras estruturas industriais e marítimas. Até 1993 a PC tinha sido aplicada a cerca de 1,000,000 m<sup>2</sup>, valor que cresceu para os 2,000,000 m<sup>2</sup> em 2000[4].

### 3 INVESTIGAÇÃO

Antes de se iniciarem os trabalhos de reabilitação do cais foi realizado um estudo para investigar mais detalhadamente a extensão da deterioração nas várias partes que constituem esta estrutura. Os testes realizados incluíram:

- Mapas de zonas delaminadas, fissuradas e com armaduras expostas;
- Medição das espessuras de recobrimento;
- Mapas de potencial e de resistência do betão;
- Verificação da continuidade eléctrica das armaduras nos diferentes elementos;
- Determinação da concentração de cloretos em zonas representativas das várias áreas e a várias profundidades.

Usando o Bloodhound, um sistema computadorizado que permite a realização de mapas de potencial e de resistência, foi possível detectar áreas de corrosão avançada e assim recolher amostras para a determinação do perfil dos cloretos com a profundidade em zonas anódicas (zonas activas) e zonas catódicas.

De uma maneira geral, os resultados do estudo mostraram que:

- 85% da área da parte inferior das vigas de apoio às gruas estavam delaminadas;
- 10% da área do muro de encontro estava delaminada;
- 35% da área da laje de descarga (reliving slab) apresentava-se delaminada
- A laje inferior do tabuleiro principal apresentava baixo teor em cloretos e baixa actividade de corrosão.

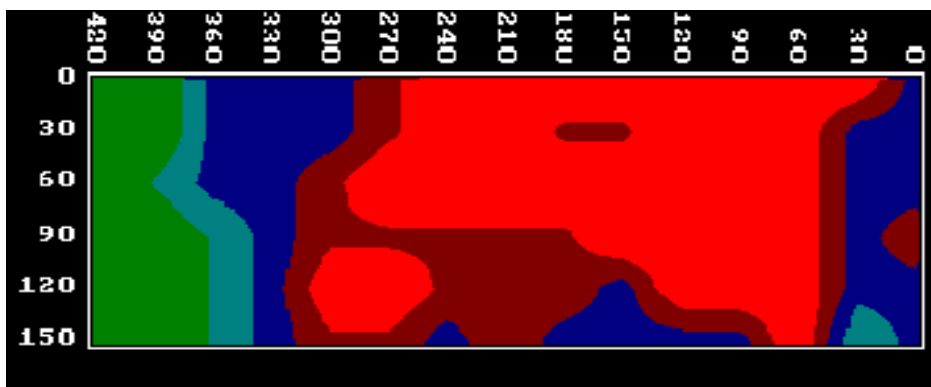


Figura 2 - Mapa de potenciais mostrando áreas de actividade de corrosão elevada (vermelho) e baixa (verde).

Devido ao elevado grau de deterioração de alguns elementos, causado pela alto teor em cloretos a nível das armaduras, só a aplicação de protecção catódica ou a reparação com remoção de todo o betão contaminado poderiam ser técnicas eficazes para evitar futura deterioração. Como este tipo de reparação iria diminuir a capacidade estrutural desses elementos e consequentemente interferir com o funcionamento do cais, esta foi desconsiderada para esta estrutura.

A metodologia de reabilitação constou de:

- Reparação utilizando protecção catódica, para os elementos que apresentavam maior actividade de corrosão; parede e laje do encontro lateral, laje inferior do tabuleiro de descarga, vigas de apoio às guias e parede frontal de resguardo.
- Nos elementos que apresentavam baixa actividade de corrosão e baixo teor de cloretos foi recomendada a aplicação de um revestimento para evitar o futuro ingresso de cloretos.

## 4 APLICAÇÃO DA PROTECÇÃO CATÓDICA

### 4.1 Filosofia do Projecto

Antes da instalação do sistema de protecção catódica, todas as áreas que estavam delaminadas ou com armaduras expostas, foram reparadas com um betão de resistividade baixa, de maneira a igualar a resistividade do betão original. O sistema de protecção catódica foi projectado tendo em consideração os seguintes factores:

- Geometria da estrutura;
- Diferentes condições de corrosão nos vários elementos;
- Variações na resistividade do betão;
- Variações da maré;
- A extensão da deterioração nos vários elementos.

Assim, o sistema de PC foi dividido em 13 secções. Cada secção foi dividida em 14 zonas electricamente separadas.

O elevado número de zonas utilizado foi essencial para se obter uma apropriada distribuição da corrente a todas as zonas e permitir um controle efectivo da performance do sistema de protecção.

## 4.2 Instalação

O sistema de ânodos utilizado foi o de fitas de malha de Titânio embebidas no betão. Mais de 30 Km de fita foram usados neste projecto. Utilizam-se dois tipos de instalação do ânodo: 1) Em zonas em que não foi necessário repor a camada de recobrimento, betão são, as fitas de ânodo foram inseridas em ranhuras de 10 mm x 30 mm de profundidade cortados na superfície do betão, a fita foi inserida na ranhura usando uma argamassa à base de cimento como backfill; 2) Zonas que apresentavam deterioração significativa, que foi necessário remover a camada de recobrimento, as fitas foram inseridas entre duas camadas de betão projectado. Ligações ao ânodo e às armaduras foram estabelecidas para cada zona eléctrica e os vários eléctrodos de referência foram instalados em cada zona para monitorização.

## 4.3 Sistema de Controle e Monitorização

Para a monitorização e controle do sistema foi utilizado um sistema computadorizado que permite a monitorização e o controle contínuo e automático da protecção catódica. Este sistema é constituído essencialmente por fontes de alimentação automáticas e uma unidade de controle.

O sistema está dividido em vários circuitos que têm a capacidade de ser controlados de forma independente. Os circuitos foram seleccionados de modo a permitir uma protecção óptima a todas as partes da estrutura independentemente das condições de corrosão em que se encontravam.

Em linhas gerais, este sistema tem as seguintes capacidades:

- Permitir a monitorização automática e contínua dos potenciais (Inst. Off potenciais) em cada eléctrodo de referência, da corrente e da voltagem fornecida por cada rectificador e recordar esses valores.
- Dispor de controle potencioestático; i.e., o potencial (inst off potencial) em cada zona /circuito é mantido dentro de uma determinada gama de valores, zona de protecção, através da regulação automática da corrente. Desta maneira, é possível manter os níveis de protecção independentemente das variações ambientais e ou de corrosão que possam ocorrer e afectar a eficácia da protecção.
- Automaticamente enviar/indicar alarmes se alguns dos limites pré estabelecidos for excedido, inclusive se houver falhas nos T/R, permitindo a imediata detecção de problemas.

De um modo geral, este sistema permite:

- Monitorização em contínuo
- Controle remoto
- Realização automática de testes de despolarização para avaliação da performance do sistema.

O sistema foi comissionado em 1998 e desde então tem funcionado adequadamente providenciando protecção à corrosão.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Vários factores têm de ser considerados quando se planeia a metodologia de reabilitação de uma estrutura. Estes incluem; conhecimento das causas e da extensão da deterioração nos diferentes elementos da estrutura, o ambiente de exposição, factores económicos, funcionamento da estrutura, tempo de vida útil esperado, etc. Assim, antes de se seleccionar a técnica mais apropriada é necessário a realização de um estudo que permita fazer um levantamento das

patologias, assim como identificar as causas e extensão da deterioração. Só com base num estudo se poderá seleccionar os métodos mais adequados para cada estrutura ou para as diferentes partes de cada estrutura.

A aplicação de protecção catódica a estruturas em que a deterioração é causada pela corrosão das armaduras por cloretos é actualmente uma técnica bem estabelecida e fundamentada tecnologicamente. Esta técnica sem sido mundialmente aplicada para reparar inúmeros e variados tipos de estruturas [2, 3] e tem sido também utilizada para prevenir a corrosão em estruturas novas [4].

A protecção catódica apresenta vantagens significativas relativamente à reparação tradicional. Dependendo de cada projecto estas incluem:

- Maior eficiência na prevenção à corrosão;
- Maior tempo de vida útil a esperar da estrutura;
- Custos mais baixos, principalmente a longo prazo;
- Menor tempo de execução;
- Menor interferência com o uso da estrutura, menos barulho, etc.;
- Menor enfraquecimento estrutural.

A maior desvantagem desta técnica é a falta de experiência de alguns utilizadores e do desconhecimento total da mesma por parte de alguns responsáveis pela manutenção de estruturas que simplesmente não a consideram como opção.

## 7 REFERÊNCIAS

- [1] Page, C.L., "Corrosion and Corrosion Control of Steel in Concrete", *2<sup>nd</sup> International Conference and Exhibition*, England, 1989, paper 21.
- [2] Broomfield J., "International Development and Growth", *Seminar on Cathodic Protection of Reinforced Concrete Structures*, SCPRC, London, 1994, paper 6.
- [3] Lourenço, M.Z., "Aplicação de Protecção Catódica a Estruturas de Betão Armado", Encontro Nacional sobre Conservação e Reabilitação de Estruturas, LNEC, Lisboa, 2000.
- [4] EC COST 521- Draft Report, "End Products Electrochemical Maintenance Methods", 2001.