



AVALIAÇÃO DO ESTADO DE CONSERVAÇÃO DE ESTACAS METÁLICAS ENTERRADAS

Zita Lorenço, Eng.^a Química, ZetaCorr, Lda
Carlos A. Cruz, Geólogo, APL - Administração do Porto de Lisboa, S.A.
J. M. Morim de Oliveira, Eng.^o Civil, Consultor

SUMÁRIO

Integrada nas acções de monitorização das estruturas do Porto de Lisboa, foi realizado, recentemente, um estudo sobre as condições de corrosão da parte submersa/enterrada das estacas metálicas da estrutura da plataforma marginal do talude norte da Doca de Santo Amaro e sobre a viabilidade de aplicação de uma protecção catódica, de modo a evitar a continuação da deterioração das estacas.

Embora as estacas tenham sido revestidas com um tratamento anti-corrosivo antes de serem instaladas, a parte superior da zona enterrada, sujeita à acção da maré e bastante arejada, poderia estar em processo de corrosão em caso de deterioração do revestimento.

Os resultados obtidos, quer nas medições do potencial de corrosão, quer nos testes de protecção catódica, vieram confirmar que subsiste um processo de corrosão embora ainda moderadamente activa.

O estudo efectuado permitiu projectar um sistema adequado de protecção catódica, capaz de contrariar, de forma contínua, o processo de corrosão que incide em toda a parte submersa/enterrada das estacas, independente do nível da maré, e de proteger todas as estruturas metálicas, total ou parcialmente submersas, localizadas na vizinhança do sistema, minimizando a sua interferência com as embarcações ancorados perto da estrutura.

Na presente comunicação descrevem-se os processos utilizados na avaliação das condições de corrosão e da viabilidade de aplicação de protecção catódica da estrutura.

1 - INTRODUÇÃO

A estrutura da plataforma sobrelevada onde estão instaladas as esplanadas dos restaurantes e bares da Doca de Santo Amaro é constituída por um tabuleiro em perfis metálicos e piso em madeira, que apoia no coroamento da retenção norte, sobre uma viga de betão armado, e numa fiada de estacas metálicas espaçadas de 12 m (Fig. 1 e 2). O aterro, no tardo da retenção é constituído fundamentalmente por areia de granulometria uniforme, apresentando, na camada superior, nos ensaios SPT, valores de N compreendidos entre 5 e 15 pancadas, e na camada onde as estacas estão cravadas, valores superiores a 20. O firme rochoso, de natureza basáltica, encontra-se a profundidade entre (-20 m)ZH e (-35 m)ZH.

Apesar da estrutura ter sido construída em 1995, em alguns pontos singulares, designadamente, na ligação do troço vertical com o troço inclinado, as estacas apresentam nítidos sinais de corrosão. Atendendo a que a parte superior da zona enterrada das estacas está sujeita ao jogo das marés e se situa numa faixa ainda relativamente arejada, estando, por isso, em condições favoráveis à ocorrência de corrosão, talvez até mais acentuada do que afecta a zona visível, uma vez que se pode ter iniciado mais cedo, por deterioração da pintura de protecção, ocorrida, eventualmente, durante a cravação das estacas, e por condições agressivas do terreno onde estão cravadas.



Figura 1- Vista geral da plataforma

Como para fazer a inspecção pelos métodos tradicionais seria necessário proceder à abertura de poços junto às estacas, trabalho de difícil realização e incómodo para os utentes, a avaliação do estado de corrosão da estrutura recorreu a métodos que não exigem pôr à vista a zona enterrada das estacas.

Descrevem-se, de seguida, os processos adoptados nesta avaliação. Aproveitou-se, ainda, o ensejo, para investigar a viabilidade de aplicação de protecção catódica, tendo-se, com este objectivo, realizado um teste piloto.

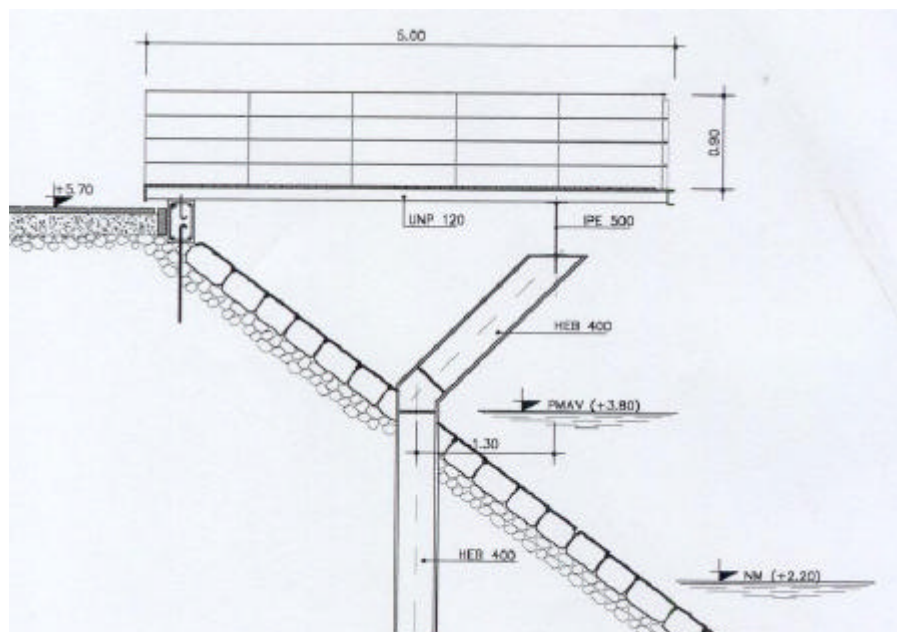


Fig. 2 – Corte transversal da plataforma

2 - TRABALHOS REALIZADOS

Para avaliação das actuais condições de corrosão dos perfis metálicos das estacas, efectuaram-se os trabalhos seguintes:

- Medição do potencial de corrosão dos perfis.
- Verificação da continuidade eléctrica entre os perfis.
- Determinação da condutividade da água.
- Realização do teste piloto de protecção catódica.

2.1 - Medição do Potencial de Corrosão

A presença de corrosão nas estacas pode ser avaliada através da medição dos potenciais eléctricos do metal - potencial de corrosão - relativamente a um eléctrodo de referência.

Foram efectuadas medições em 12 das 16 estacas, utilizando dois métodos:

- a) o eléctrodo de referência foi colocado junto à estaca sobre a argamassa de preenchimento das juntas entre os blocos de pedra que constituem o revestimento da retenção da doca;
- b) o eléctrodo de referência foi colocado na água junto à estaca.

Os valores medidos nas várias estacas foram da mesma ordem de grandeza, variando entre -640 e -690 mV Cu/CuSO₄, indicando uniformidade nas condições existentes e não apresentam variações significativas nos dois métodos, o que indica que qualquer um deles pode ser utilizado na medição dos potenciais de corrosão.

Os valores obtidos indicam que a parte enterrada das estacas se encontra em estado de corrosão, podendo esta ocorrer de forma moderada em numerosos sítios ou mais activa em alguns pólos somente.

2.2 - Verificação da Continuidade Eléctrica entre Estacas

Quando se pretende aplicar a protecção catódica a uma estrutura é essencial garantir a continuidade eléctrica entre todos os elementos dessa estrutura. Elementos que não estejam electricamente ligados ao sistema de protecção catódica não serão protegidos e poderão até sofrer interferência adversa do sistema de protecção catódica. É necessário, por isso, fazer a verificação da continuidade eléctrica e estabelecê-la caso não exista.

A continuidade eléctrica foi verificada através da medição da resistência eléctrica entre várias estacas. Os valores de resistência obtidos foram da ordem de 0.5 Ohm, indicando que há continuidade eléctrica entre elas.

2.3 - Determinação da Condutividade da Água

A condutividade da água foi medida em duas amostras recolhidas junto às estacas. Os valores obtidos a 20°C foram de 37.7 e 37.4 mS/cm, normais em água salgada.

2.4 - Teste Piloto de Protecção Catódica

O objectivo da protecção catódica é o de reduzir ou eliminar o processo de corrosão, tornando o potencial eléctrico do metal a proteger mais negativo, isto é, catódico. O abaixamento do potencial eléctrico do metal é conseguido através da passagem duma corrente contínua de baixa

intensidade, de um ânodo exterior através do electrólito (água/solo) para o aço (cátodo). A corrente pode ser aplicada de duas maneiras:

- 1) ligando o metal 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.

Quando a estrutura é semi-imersa ou semi-enterrada, com uma parte enterrada ou submersa e outra parte exposta à atmosfera, a protecção catódica que é aplicada na água ou no solo para proteger a parte enterrada/submersa não fornece protecção à parte atmosférica uma vez que não existe meio condutor para a corrente.

Os componentes básicos de um sistema de protecção catódica por corrente imposta são: ânodo, cátodo(no caso presente, as estacas), electrólito (água/solo) e a fonte de alimentação. Para avaliar a eficácia de um sistema de protecção catódica utilizam-se sensores, eléctrodos de referência.

2.4.1 - Condições de Realização do Teste

No teste piloto foi utilizado um ânodo de titânio revestido por uma mistura de óxidos de vários metais, imerso na água a meia distância entre as estacas 13 e 14. O eléctrodo de referência utilizado foi o eléctrodo de cobre/sulfato de cobre.

Durante o teste a intensidade da corrente injectada foi variada de modo a obter diferentes condições de protecção. A medição dos potenciais foi efectuada junto às estacas 13 e 14 e em outros pontos mais afastados, para determinar a atenuação do potencial com a distancia ao ânodo.

2.4.2 Resultados

Os resultados obtidos no teste de protecção catódica estão indicados nas Tabelas 1 e 2 e no Gráfico 1.

Tabela 1- Valores dos potenciais junto às estacas

Medições	Estacas								
	16	15	14	13	12	11	10	9	8
Pot C/C (mV)	-1277	-1280	-1360	-1370	-1302	-1281	-1258	-1258	-1258
Pot S/IR* (mV)	-827	-830	-910	-920	-850	-831	-800	-800	-800

* Potencial S/IR = Potencial c/c - IR do cabo eléctrico (450 mV = 3000 mA x 0.15 Ohm)

No Gráfico 1, apresenta-se a variação dos potenciais polarizados junto à estaca 13 com a altura da maré. Como o gráfico revela, os valores do potencial tornam-se mais negativos à medida que o nível da água baixa indicando uma maior protecção. Este abaixamento do potencial resulta do facto da corrente se propagar preferencialmente para as zonas submersas e da superfície do metal submersa diminuir com a descida da maré.

Assim, à medida que desce o nível da água, decresce a parte submersa e aumenta a intensidade da corrente nessa parte; consequentemente a densidade da corrente (corrente fornecida / superfície) aumenta, originando potenciais mais negativos nessa área. Em contrapartida, na parte enterrada não submersa dá-se o fenómeno inverso com o abaixamento do

nível da água. A intensidade da corrente diminui, a área a proteger aumenta e por conseguinte a densidade da corrente diminui. Em consequência a polarização diminui.

Tabela 2- Resultados obtidos no teste de protecção catódica junto à estaca 13

Dia	Hora	Voltagem (mV)	Corrente (mA)	Pot C/C (mV)	IR*	Pot S/IR** (mV)
03-10-2000	16	2.6	2000	-1100		
"	17	2.6	2000	-1119		
"	18	2.6	2000	-1118		
"	19	2.6	2000	-1114		
"	20	2.6	2000	-1116		
"	21	2.6	2000	-1119		
"	22	2.6	2000	-1127		
"	23	2.6	2000	-1136		
"	24	2.6	2000	-1154		
04-10-2000	1	2.6	2000	-1162		
"	2	2.6	2000	-1162		
"	3	2.6	2000	-1155		
"	4	2.6	2000	-1148		
"	5	2.6	2000	-1139		
"	6	2.6	2000	-1135		
"	7	2.6	2000	-1125		
"	8	2.6	2000	-1117		
"	9	2.6	2000	-1120		
"	10	2.6	2000	-1127		
"	11	3.15	2000	-1200	300	-900
"	12	3.7	3000	-1337	450	-887
"	13	3.7	3000	-1370	450	-920
"	15	4.2	4600	-1470	525	-945
"	16	5	4600	-1700	690	-1010
"	17			-1720	690	-1030

*- IR - queda de tensão no cabo eléctrico devido à passagem da corrente, $0.15 \text{ Ohm} \times I \text{ (mA)}$.

** - Valor do potencial polarizado da estaca sem IR

Esta variação da polarização na zona da maré com as alterações do nível da água, terá de ser considerada no projecto do sistema de protecção catódica, de modo a obter uma melhor uniformização da protecção a todas as áreas independentemente do nível da maré.

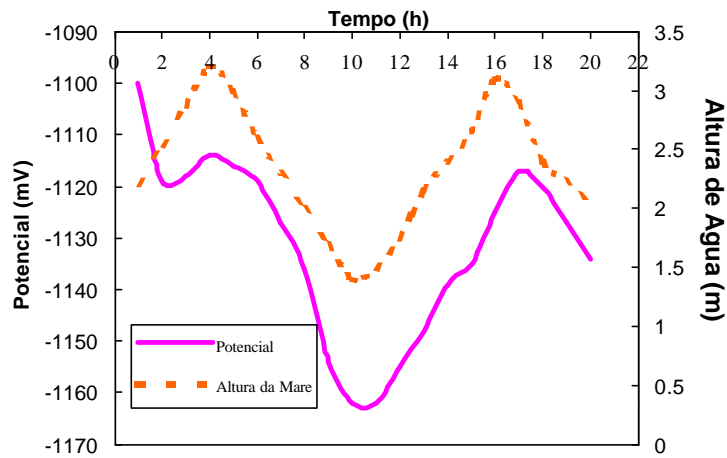


Gráfico 1- Variação do potencial com a altura da maré quando da aplicação de protecção catódica.

Os resultados apresentados na Tabela 1, indicam que o potencial se atenua com a distância ao ânodo. Com a aplicação de corrente, com intensidade 3A, o potencial polarizado junto às estacas varia de - 920 mV nas estacas 13 e 14, isto é, junto ao ânodo, a cerca de - 800 mV Cu/CuSO₄, nas estacas 10, 9 e 8. Estes resultados indicam que aplicação de uma corrente de 3A é suficiente para proteger 6 estacas (neste caso as estacas 16 a 11) em que o potencial de protecção é de aproximadamente - 850 mV Cu/CuSO₄, o que corresponde a uma densidade de corrente de aproximadamente 30 mA/m².

A corrente necessária para proteger as 16 estacas é, no mínimo, de 8 A. Devido à atenuação do potencial observado e para evitar a sobreprotecção das estacas mais perto do ânodo, é aconselhável a instalação de vários ânodos de menor débito dispostos ao longo da retenção.

2.4.3 - Teste de Interferência do Sistema de Protecção Catódica com os Barcos Ancorados na Doca

Quando se instala um sistema de protecção catódica, é possível que o sistema, quando em funcionamento, possa causar interferência em equipamentos, estruturas e ou outros objectos metálicos que se encontrem na sua vizinhança. Chama-se a este fenómeno, interferência por correntes fugidias. Portanto, quando se projecta um sistema de protecção catódica, é necessário avaliar as possíveis interferências e projectar o sistema de modo a eliminar ou minimizar alguma interferência adversa que possa ocorrer. No caso da Doca de Santo Amaro, é necessário evitar ou minimizar a possível interferência do sistema de protecção nas embarcações estacionadas na doca, mais propriamente nas suas partes metálicas imersas. Para tal, foi realizado um teste de interferência em uma das embarcações, localizada aproximadamente a 30 m do ânodo. O teste foi realizado colocando o eléctrodo de referência na água junto ao casco da embarcação e estabelecendo uma ligação à parte metálica do motor, que estava em contacto com a parte imersa, que se encontrava protegida com ânodos sacrificiais de zinco.

Este teste foi realizado por medição do potencial eléctrico das partes imersas da embarcação, com a corrente de protecção ligada e desligada. Os resultados foram os seguintes:

- Potencial com corrente de protecção ligada: - 1142 mV
- Potencial com corrente de protecção desligada: - 1072 mV

A diferença de potencial observada devido à aplicação de corrente de 3 A nas estacas da plataforma, foi de -70 mV. Este valor indica que é provável que as partes metálicas imersas das embarcações estacionadas na doca possam sofrer alguma influência de correntes fugidias do sistema de protecção catódica. Contudo, essa influência é muito pequena e as embarcações que estão protegidas com ânodos sacrificiais não sofrerão qualquer alteração significativa. Esta interferência pode ainda ser minimizada ou mesmo eliminada com a utilização de um sistema de ânodos distribuídos de menor débito de modo a criar um campo eléctrico de menor intensidade á volta do ânodo.

3 - CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Os resultados deste estudo, quer quanto aos valores do potencial de corrosão da parte enterrada/imersa das estacas, quer no que respeita ao teste de protecção catódica, confirmam que a parte enterrada das estacas se encontra em estado de corrosão activa.

A intensidade da corrente necessária à protecção de estruturas metálicas depende do estado de corrosão da estrutura, da área a proteger e do ambiente em que se encontram. Para estruturas metálicas e marítimas e com actividade de corrosão baixa, isto é, estruturas em que o estado do revestimento anti-corrosivo é satisfatório, a densidade da corrente necessária é da ordem de 5

10 mA/m² [1]. Para estruturas marítimas não revestidas o valor da densidade da corrente necessário é da ordem de 130 mA/m² de superfície a proteger. Os resultados do teste de protecção catódica indicam que a densidade da corrente requerida para proteger a parte enterrada das estacas é da ordem de 30 mA/m². Isto significa que, ou existem áreas localizadas de corrosão bastante activa em zonas de deterioração do revestimento ou existe um estado geral de corrosão moderada devido à degradação do revestimento em toda a superfície. Em qualquer destas situações, a parte mais crítica é a zona sujeita à variação das marés em que a concentração de oxigénio é mais elevada e, portanto, a velocidade de corrosão é maior.

É natural que o revestimento anti-corrosivo aplicado nos perfis tenha sido danificado durante o processo de cravação das estacas. Nas áreas em que ocorreram danos no revestimento, é provável que a corrosão se tenha iniciado imediatamente, devido ao alto teor em cloretos existente no solo saturado de água salgada. Com o tempo, as áreas de corrosão ter-se-ão progressivamente alargado e novos pólos de corrosão iniciados. É comum em muitos países, em estruturas metálicas nestas condições, a aplicação conjunta de revestimento e de protecção catódica.

Tendo em conta as graves consequências que adviriam da ruptura da estrutura de suporte da plataforma, é necessário parar a corrosão existente e evitar o surgimento de novos pólos de corrosão. Para o efeito, a técnica mais económica e efectiva de sustentar a actividade da corrosão é a protecção catódica.

O sistema de protecção adequado para esta estrutura deverá satisfazer os seguintes requisitos:

- a) Fornecer protecção continua e adequada a toda a parte submersa/enterrada das estacas independentemente do nível da maré.
- b) Permitir a protecção ou retardar a deterioração de todas as estruturas metálicas total ou parcialmente submersas localizadas na vizinhança do sistema, como os tirantes e as escoras.
- c) Minimizar a sua interferência com as embarcações ancoradas perto do passadiço.

Para satisfazer estes requisitos o sistema proposto tem as seguintes características:

Ânodo

Utilização de um ânodo distribuído de modo a ser capaz de fornecer protecção uniforme e adequada a todas as estacas e ao mesmo tempo minimizar a influência nas embarcações ancoradas na Doca. O ânodo proposto é um ânodo tubular de titânio revestido com uma mistura de óxidos, a ser instalado no leito da Doca, ao longo da retenção, o mais perto possível das estacas e sempre imerso. O ânodo proposto é de longa duração.

Este ânodo é capaz de fornecer o máximo de 1 A/m com uma capacidade até 160 A. A corrente necessária para providenciar protecção adequada às estacas é da ordem dos 10 A o que corresponde a 60 mA/m de ânodo. Isto significa que o ânodo terá capacidade para garantir protecção não só as estacas mas também a outros elementos metálicos situados nas vizinhanças, nomeadamente as escoras, tirantes e partes metálicas das embarcações.

Eléctrodos de Referência

Foram propostos dois tipos de eléctrodos de referência: de zinco imersos na água e de prata / cloreto de prata enterrados no solo junto às estacas. A instalação destes últimos no solo junto às estacas, vai permitir a monitorização e o controle do potencial da parte superior da zona da maré, de modo a se obter uma uniformização dos potenciais de protecção independentemente do nível da água.

Sistema de Controlo

O sistema de protecção catódica será controlado por um sistema computadorizado que para além de ir fornecendo a corrente continua necessária e suficiente a um adequado funcionamento da protecção catódica, monitoriza o potencial junto às estacas, a corrente e a voltagem fornecida pelas fontes de energia do sistema. Se um problema é detectado, automaticamente desliga a fonte de alimentação afectada e transmite alarmes. Estes alarmes também se aplicam à informação do potencial obtida pelos eléctrodos de referência. Assim, em situações de falhas ou de problemas, o sistema é capaz de mandar mensagens com a descrição da anomalia que o afecta.

4 - REFERÊNCIAS

- [1] Det Norske Veritas Industri Norge AS, "Recommended Practice RP B401 Cathodic Protection Design, 1993.