

# REABILITAÇÃO DE UMA ESTRUTURA CONTAMINADA POR CLORETOS UTILIZANDO A TÉCNICA DA DESSALINIZAÇÃO

Henrique Alves<sup>1</sup>, Pedro Colaço<sup>2</sup>, Zita Lourenço<sup>1</sup>

## RESUMO

*Embora a reparação localizada seja uma técnica bastante utilizada na reabilitação de estruturas em que a corrosão é devida à contaminação por iões cloreto, pode revelar-se 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 incipientes, dando assim continuação à deterioração. Os métodos electroquímicos permitem a reposição da passivação das armaduras ou a sua protecção catódica, sem ser necessário remover todo o betão contaminado, resultando em soluções mais eficazes e económicas de controlo de corrosão.*

*Este artigo descreve o processo de reabilitação de um edifício escolar, em que parte da estrutura de betão armado se encontrava severamente afectada por corrosão das armaduras, devida à contaminação do betão por cloretos. Como parte da reabilitação foi implementada a técnica da dessalinização, com o objectivo de diminuir o teor de cloretos do betão junto às armaduras, para valores aceitáveis, eliminando assim a causa da corrosão. O recurso a esta técnica possibilitou a reabilitação integral da parte afectada da estrutura de betão armado sem recorrer à sua substituição total.*

**Palavras-chave:** *Betão armado, corrosão, dessalinização, técnicas electroquímicas*

## 1. INTRODUÇÃO

A corrosão das armaduras é uma das principais causas da degradação das estruturas de betão armado. A corrosão está normalmente associada à carbonatação ou contaminação do betão por cloretos. A presença destes iões

(1)- Zetacorr Lda, Rua J.M. Simões, 8, Torres Vedras; zetacorr@zetacorr.com

(2) -Stap, Rua Marquês da Fronteira, 8, 3.º Dto, 1070-296 Lisboa; pmcolaco@stap.pt

no betão armado é frequente em estruturas marítimas, mas não exclusiva. A presença de iões cloreto numa estrutura de betão armado pode ter origem nos inertes utilizados aquando da construção ou na aplicação de revestimentos à posteriori.

O teor de cloretos considerado crítico para a indução de corrosão, em estruturas de betão armado, é de 0,4% (peso de cimento). A reabilitação de estruturas contaminadas com iões cloreto em concentrações superiores ao limite crítico impõe que o betão seja reparado localmente ou que seja reduzida a sua contaminação. A reparação local que envolve somente as zonas visivelmente deterioradas, nem sempre é eficaz. A corrosão pode propagar-se às zonas adjacentes, não reparadas mas também contaminadas por cloretos, dando assim continuidade ao processo de deterioração. Estas novas áreas de corrosão, formadas nas regiões adjacentes às zonas reparadas, são designadas por ânodos incipientes [1].

A dessalinização é um método electroquímico, que se aplica temporariamente, para controlar a corrosão das armaduras no betão contaminado por cloretos. O objectivo da dessalinização é remover os cloretos do betão junto das armaduras e assim reduzir o seu teor até valores inferiores aos considerados críticos para a indução da corrosão. A implementação da técnica consiste na aplicação temporária de corrente eléctrica contínua, entre a armadura do betão (cátodo) e uma malha de um ânodo, aplicada na superfície do betão e embebida numa solução electrolítica. Devido à passagem da corrente contínua, os iões cloro (carregados negativamente) são atraídos para o ânodo (carregado positivamente) e migram para fora do betão. Simultaneamente, ocorre um fenómeno de electrólise na interface aço/betão que produz um

ambiente alcalino e conduz à re-passivação das armaduras. O princípio de funcionamento deste tratamento é esquematicamente representado na Fig 1.

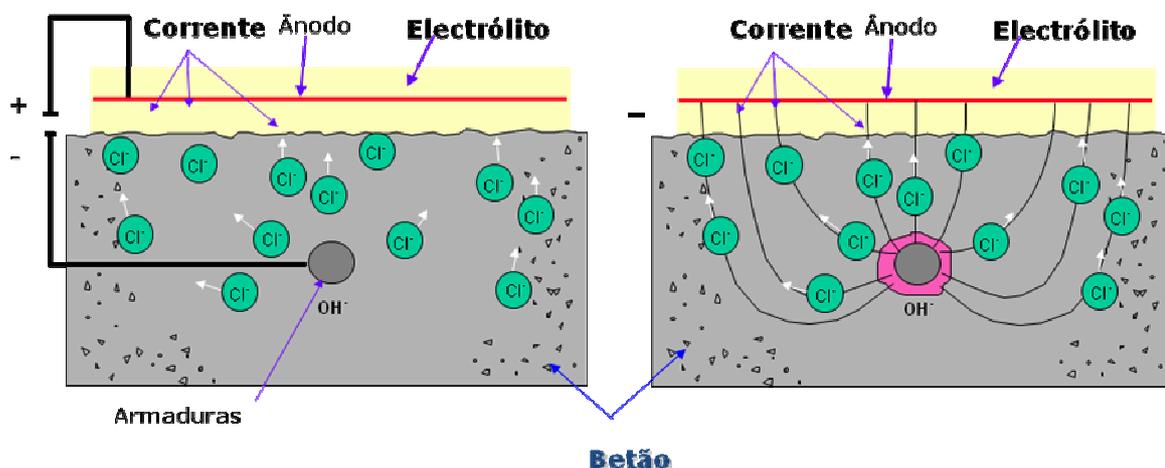


Fig 1 - Representação esquemática do processo de dessalinização.

Este artigo apresenta um caso prático de aplicação de dessalinização num edifício escolar, em que parte da estrutura de betão armado se encontrava severamente afectada por corrosão das armaduras, devida à contaminação do betão por cloretos.

## 2. TRATAMENTO ELECTROQUÍMICO

### 2.1 Estrutura e Condições

Durante o projecto de reabilitação do edifício escolar e após a remoção dos materiais de revestimento dos pavimentos, detectaram-se sinais de corrosão severa das armaduras superiores da laje do 1º piso. Consequentemente foi elaborado um estudo com o objectivo de caracterizar estruturalmente os

elementos estruturais principais, avaliar a extensão da deterioração e determinar as causas da corrosão.

Relativamente à extensão da deterioração e suas causas, as principais conclusões do estudo indicaram [2]:

- as zonas que apresentavam maior deterioração do betão eram as zonas maciças das lajes, que correspondem às zonas com maior densidade de armadura;
- a corrosão das armaduras foi causada pela elevada contaminação de cloretos no betão ao nível das armaduras superiores.
- o perfil de cloretos (variação da concentração de cloretos com a profundidade) obtido nas duas faces da laje, diminuindo para o interior e de baixo valor na face inferior da laje, indicaram que a origem dos cloretos terá sido o material de revestimento da face superior, constituído por uma betonilha feita com agregados salgados, que foi removida durante os trabalhos de reabilitação.

Relativamente às técnicas a adoptar para a reabilitação da laje, e dado que a contaminação do betão por cloretos ao nível das armaduras era elevado, foi considerado que a reparação local não seria eficaz nem aconselhável, porque seria necessário demolir todo o betão envolvente das armaduras, betão contaminado. Este procedimento poderia introduzir problemas de segurança estrutural na fase de reparação e poderia alterar significativamente a distribuição de tensões na estrutura. Em alternativa, foram consideradas duas opções: a protecção catódica e a remoção electroquímica de cloretos. Concluiu-se que a metodologia mais adequada para a reabilitação da laje seria a remoção electroquímica dos cloretos, uma vez que esta técnica iria remover

o agente causador da corrosão, e não requereria a monitorização periódica inerente aos sistemas de protecção catódica.

A reabilitação da estrutura consistiu numa intervenção múltipla que incluiu a substituição do betão nas zonas degradadas, a correcção do recobrimento das armaduras em áreas consideradas deficientes, a implementação do tratamento de dessalinização na face superior das lajes e a aplicação de um esquema de pintura na face inferior.

## **2.2 Aplicação da dessalinização**

Antes da aplicação do tratamento de dessalinização foi necessário reparar adequadamente todas as áreas com betão deteriorado. Em algumas zonas, e devido à extensão da deterioração, foi necessário repor as armaduras corroídas através da sua substituição com armaduras novas.

O tratamento das lajes dos três blocos, que constituem o edifício, foi faseado de modo a que cada bloco fosse tratado individualmente. A instalação do sistema compreendeu as seguintes etapas:

- Realização de ensaios preliminares, nomeadamente a verificação da continuidade eléctrica das armaduras, determinação do teor de cloretos em áreas consideradas de controlo, etc.
- Aplicação do ânodo, composto por uma malha de aço electrossoldado, entre camadas de feltro (Fig. 2).
- Realização das ligações anódicas e catódicas (armaduras) (Fig. 3).
- Montagem de um sistema de "rega" que garantiu a humidade adequada e uniforme do material de suporte do ânodo (feltro), para assegurar a

distribuição uniforme da corrente eléctrica a toda a superfície do betão a tratar em cada zona eléctrica (Fig. 4).

- Realização de testes para verificação da ausência de curto circuitos ente o ânodo e o cátodo;
- Aplicação de corrente eléctrica (Fig. 5) e monitorização da funcionalidade de todo o sistema.
- Monitorização da amperagem (A.h), em cada zona, para determinação da carga total.
- Extracção de carotes, em áreas consideradas representativas, para determinação do teor de cloretos ao nível das armaduras.

No final do tratamento, o circuito eléctrico foi interrompido, o ânodo/ material de suporte e equipamento (ligações) foram removidos e a superfície do betão limpa dos vestígios do tratamento.

O sistema foi dimensionado de modo a fornecer uma densidade de corrente de, em média,  $1A/m^2$  de aço das armaduras. O sistema anódico, em cada módulo, foi dividido em múltiplas zonas, electricamente independentes, e cada zona foi alimentada por uma saída independente da fonte de alimentação, de modo a assegurar um controlo adequado da corrente a toda a superfície do betão. A duração do tratamento em cada módulo (de cerca de  $500 m^2$  de área de betão) variou de 4 a 7 semanas.

Os critérios utilizados para determinação do fim do tratamento basearam-se nas normais aplicáveis [3,4, 5] e foram os seguintes:

- redução da concentração de cloretos no betão junto às armaduras para valores inferiores a 0,4% peso de cimento;

- quantidade mínima de carga elétrica total fornecida durante o tratamento de 600 A.h/m<sup>2</sup> de aço.

	
<p>Fig 2 - Instalação da malha de aço (ânodo) entre camadas de feltro</p>	<p>Fig 3 - Ligações às armaduras (catódicas) e à malha de aço (anódicas).</p>
	
<p>Fig 4 - Instalação do sistema de rega para manter a humidade</p>	<p>Fig 5 - Exemplo das ligações às fontes de alimentação</p>

### 3. RESULTADOS

Os resultados da determinação do teor de cloretos nas carotes extraídas antes e durante o tratamento, são apresentados nos Gráficos 1, 2 e 3, para os módulos A4, A3 e A2 respectivamente.

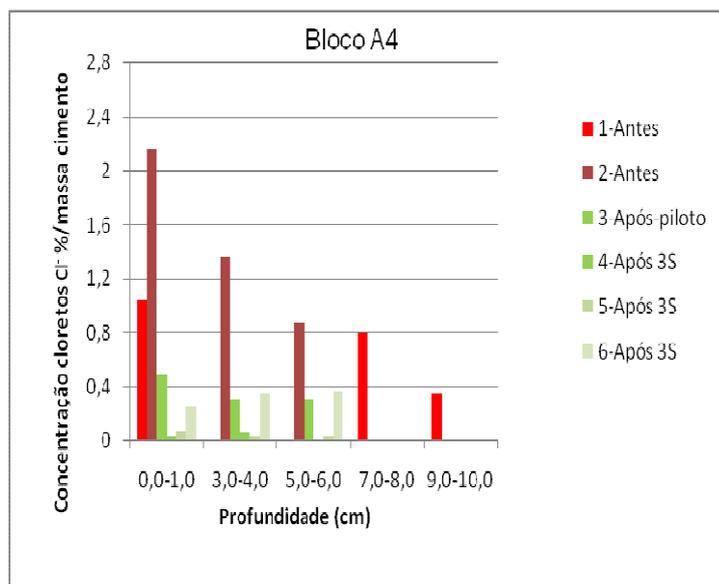


Gráfico 1 - Variação do teor de cloretos com a profundidade, antes e após o tratamento, no Bloco A4

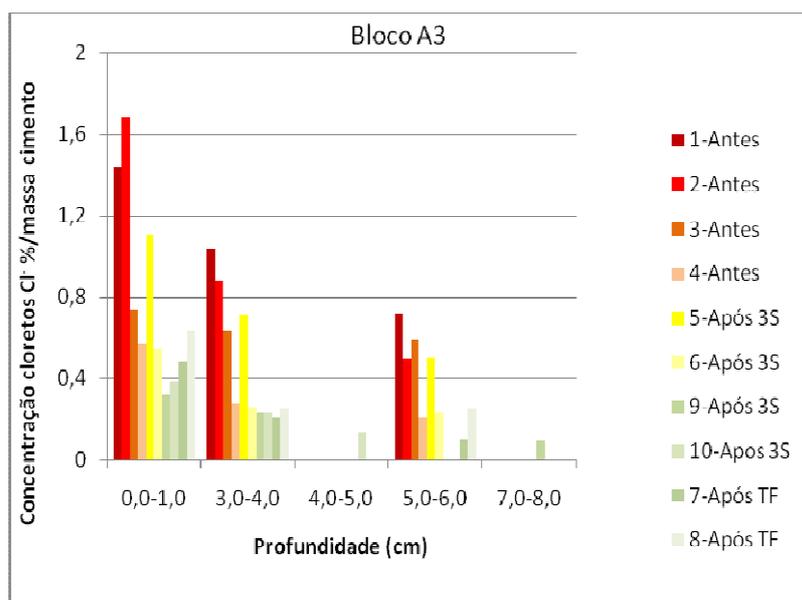


Gráfico 2 -Variação do teor de cloretos com a profundidade, antes, durante e após o tratamento, no Bloco A3.

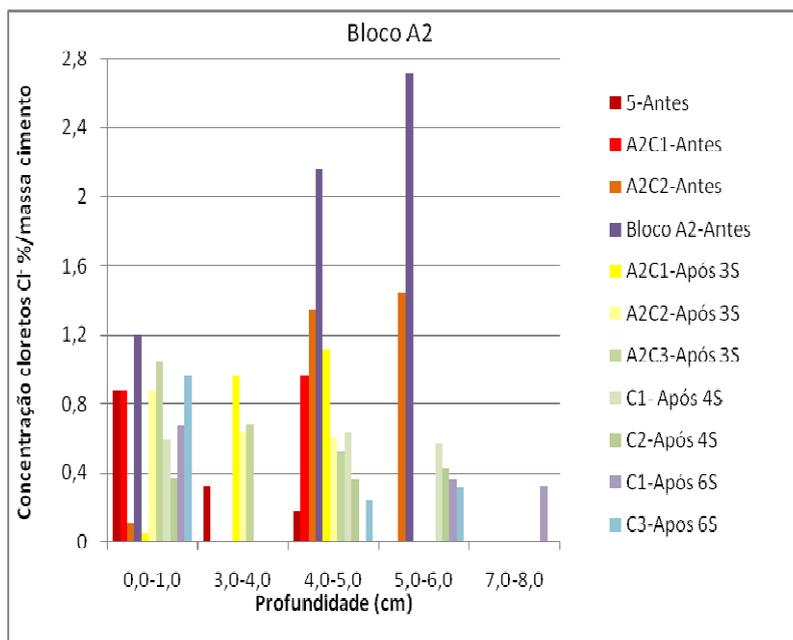


Gráfico 3- Variação do teor de cloretos com a profundidade, antes, durante e após o tratamento, no Bloco A2.

A duração do tratamento foi de 4 semanas nos Blocos A4 e A3 e de 7 semanas no Bloco A2. No Bloco A2, os resultados obtidos antes do início do tratamento indicaram um teor de cloretos muito elevado, tanto no betão superficial como ao nível das armaduras. Valores da ordem de 2,7% foram encontrados a 5-6 cm de profundidade. Devido à elevada contaminação inicial do betão na laje deste bloco, comparativamente aos Blocos A3 e A4, o tratamento neste bloco foi mais prolongado do que nos blocos A3 e A4. Nos Blocos A3 e A4 ao fim de 4 semanas de tratamento, o teor de cloretos ao nível das armadura (4-5 cm de profundidade) era inferior ao valor crítico, de 0,4% massa de cimento. Contudo, no Bloco A2, para que se verificasse a diminuição de iões cloreto ao nível das armaduras, foi necessário um tratamento de 7 semanas.

Os resultados demonstraram a eficácia da aplicação da dessalinização na remoção dos iões cloreto ao nível das armaduras do betão das lajes de todos os blocos tratados.

#### **4. CONCLUSÕES**

Na reabilitação de estruturas de betão armado é fundamental que a estratégia de intervenção a adoptar seja baseada no conhecimento das causas e extensão da deterioração, de modo a permitir a selecção dos métodos tecnicamente e economicamente mais apropriados a cada situação.

No caso da edifício do caso em estudo, a reparação local não seria eficaz nem aconselhável estruturalmente. A aplicação de dessalinização resultou numa técnica eficaz no controle da corrosão e em menor enfraquecimento estrutura, uma vez que o betão removido (e recolocado) foi confinado às áreas deterioradas.

#### **5. NOTAS FINAIS**

A inspecção e diagnóstico da estrutura foi realizado pela Oz, Lda. Os trabalhos de reparação e instalação do tratamento foram realizados pela STAP, S.A. O projecto e supervisão técnica do tratamento foi realizado pela Zetacorr, Lda.

#### **6. REFERÊNCIAS**

[1] Forsyth, M. e Lourenço, M. Z., “Corrosion and Protection of Steel in Concrete”, *Corrosion & Materials*, Vol. 22, p 13-16, (1997).

[2] Mesquita, C., Metodologias de Inspeção e Ensaios para Avaliação do Estado de Conservação de Estruturas Afectadas por Corrosão de Armaduras, Relatório OZ

[3] Fpr CEN/TS 14038-2 - Electrochemical Re-alkalization and chloride extraction treatments for reinforced concrete-Part 2: Chloride Extraction (2010).

[4] NACE SP0107-2007- Electrochemical Realkalization and Chloride Extraction for Reinforced Concrete.

[5] NACE Item 24214 - Electrochemical Chloride Extraction from Steel Reinforced Concrete - A State -of-the-Art Report, (2001).