

O BETÃO PROJECTADO COMO METODOLOGIA PARA A REPARAÇÃO DE ESTRUTURAS MARÍTIMAS DE BETÃO ARMADO SEVERAMENTE ATACADAS PELA CORROSÃO DAS ARMADURAS – UMA REVISÃO CRÍTICA

THOMAZ RIPPER

Engenheiro Civil, LEB – Consultoria em Betões e Estruturas, L. da,
Praceta Francisco Relógio, 13, Cobre, 2750-566 CASCAIS, Portugal
Professor Assistente do Departamento de Engenharia Civil, UFF, Niterói, Brasil
Professor do Grupo de Betão Armado e Pré-Esforçado, IST, Lisboa, Portugal
thomazripper@mail.telepac.pt

JOSÉ PAULO Veríssimo da Silva Maia COSTA

Engenheiro Civil, s.t.a.p, S. A., Rua Pedro Nunes, 27 – 1º, 1069-072 LISBOA, Portugal
info@stap.pt

RESUMO

Analisa-se, sob a égide da durabilidade, o desempenho, ao termo de mais de dez anos, de algumas obras marítimas, construídas em betão armado, severamente afectadas pela corrosão das armaduras e reabilitadas com a utilização de betão aplicado por projecção – via seca –, avaliando-se esta técnica sob o aspecto particular da sua aplicabilidade, em termos de garantia de bom desempenho, na actividade de reabilitação estrutural.

As obras em questão, todas elas localizadas na região Sul de Portugal e, portanto, expostas a macroambientes de agressividade semelhante, correspondem a um volume apreciável de trabalhos, pelo que estão a ser analisados muitos milhares de metros quadrados de intervenções de reparação.

1. INTRODUÇÃO

Em finais da década de 80, os autores deste trabalho tiveram a oportunidade de acompanhar a execução de diversas obras de reabilitação estrutural levadas a efeito na costa Portuguesa, especificamente em estruturas marítimas em betão armado – pontes, pontes-cais e embarcadouros – construídas, na grande maioria dos casos, já há algum tempo, segundo sistemas estruturais bastante simples (a excepção a esta regra fica, como adiante se justifica, pela obra 7). O estudo que ora se desenvolve, integrado no Projecto LIFE, compreendeu, em sua primeira etapa, a análise preliminar de 7 (sete) obras, seis das quais localizadas no sotavento Algarvio, estando a sétima na foz do Rio Sado, em Setúbal, também ao Sul de Lisboa.

As obras de reparação a analisar, a seguir listadas, decorreram entre 1987 e 1991:

- obra 1: ponte-cais da Ilha da Culatra (1987);

- obra 2: embarcadouro de Olhão (1987);
- obra 3: embarcadouro da Ilha de Tavira (1988);
- obra 4: embarcadouro da Praia de Tavira (1988);
- obra 5: embarcadouro da Porta Nova, em Faro (1989);
- obra 6: ponte de acesso à Ilha de Faro (1990);
- obra 7: paredes das docas secas da Setenave, na Mitrena, Setúbal (1991).

Pretendeu-se, neste trabalho, avaliar o desempenho dos sistemas de reabilitação adoptados analisando-se, em especial, a efectividade das diferentes composições utilizadas para os betões aplicados por projecção e as espessuras efectivas de recobrimento das armaduras.

Tecem-se igualmente considerações relativas aos critérios de vida útil então fixados, pelos Donos das Obras: dez anos, para as seis primeiras obras, a partir de pressupostos meramente relacionados com o custo imediato das intervenções de reparação, e trinta anos para a sétima, já a considerar a nova vida útil da obra e incluindo a previsão de tarefas de manutenção.

Para tanto, além da análise de toda a documentação disponível, em especial dos registos fotográficos correspondentes ao estado das obras antes e durante o processo de reabilitação, foi feito o mapeamento das patologias actualmente existentes, tendo-se procedido, nesta primeira etapa – avaliação preliminar – a análise do estado da construção, em termos do seu ressentimento à actuação dos agentes agressores (parâmetro básico de avaliação da durabilidade), o que foi feito com recurso a métodos expeditos, nomeadamente a avaliação da concentração de cloretos, da medição da espessura de carbonatação do betão e do recobrimento das armaduras, nos principais elementos estruturais de cada obra.

É interessante realçar o aspecto de que estas obras foram, em boa verdade, as responsáveis pela introdução, em Portugal, do betão projectado como técnica para a reabilitação e reforço de estruturas de betão armado, pelo que, neste sentido, foram pioneiras.

2. CARACTERIZAÇÃO DA CORROSÃO ATMOSFÉRICA

Em Portugal, os estudos relacionados com a corrosão vêm recebendo, nos últimos anos, especial atenção, merecendo particular destaque, no respeitante ao seu interesse para a Construção Civil, os desenvolvidos pelo INETI – Instituto Nacional de Engenharia e Tecnologia Industrial –, que demonstram que o maior problema, em termos de ambientes potencialmente agressivos para os metais, particularmente para os varões de aço embebidos em betão, são os meios marítimos, cujas atmosferas são ricas em cloretos, sendo os casos mais críticos os das zonas mais quentes, como os encontrados nas praias do Sul, Algarve, nomeadamente.

Uma classificação climática muito utilizada é a devida a Köppen, que se baseia nos valores médios da temperatura do ar e da quantidade de precipitação, e na distribuição correlacionada

destes dois elementos pelo meses do ano. Todo o Algarve é classificado como Csa, que significa clima temperado, com estação seca coincidente com a estação quente, em que a temperatura média do ar é superior aos 22 °C. A humidade relativa do ar, na região, varia entre 85 % (Outubro a Maio) e 60 % (Junho a Setembro), calculando-se que, em média, por mês, hajam mais de 240 horas em que o valor da humidade relativa do ar é superior a 80 %, ou seja, estando criadas as condições ideais para a ocorrência de fenómenos corrosivos.

Os mapas de corrosividade atmosférica para o litoral Algarvio estabelecidos pelo INETI indicaram que esta região deve ser classificada, a partir da agressividade dos parâmetros atmosféricos, como C4, ou seja, corrosividade severa (a escala varia de C1 – muito baixa – a C5 – muito severa). Para a península setubalense (obra 7) a situação não é muito diferente.

3. BREVE DESCRIÇÃO DAS CONSTRUÇÕES E DAS SUAS PATOLOGIAS

A **ponte-cais da Ilha da Culatra** funciona como ancoradouro para pequenas embarcações e como desembarcadouro de passageiros, sendo de salientar que a via marítima constitui-se no único acesso à ilha, situada em plena Ria Formosa. Estruturalmente, pode ser identificada como um pavimento em lajes maciças, simplesmente apoiadas em pórticos transversais e em vigas longitudinais, a vencer vãos, nas duas direções, da ordem dos 5 m. Os pilares funcionam também como estacas e a construção, segundo as informações colhidas, é anterior aos anos 50.

Em termos de identificação do quadro patológico existente à época da contratação dos serviços de reparação, importará ressaltar as seguintes deficiências:

- corrosão generalizada das armaduras das vigas longitudinais e transversais à cota da laje (zona salpicada pela água e permanentemente aérea), assim como da armadura dos pilares, sendo de destacar que, ainda que de forma aleatória, em diversos pontos a espessura de recobrimento das armaduras apresentava valores muito reduzidos;



Figuras 1 e 2 – Vista lateral da obra n.º 1 e pormenor da degradação existente em 1986

- o betão era muito poroso, sendo constituído, em termos dos inertes mais grossos, por seixos rolados. A areia utilizada na construção terá sido, muito provavelmente, a do mar;

- as superfícies da laje a apresentarem maior concentração de corrosão eram as situadas junto às ligações com as vigas. No caso particular desta obra, as lajes não se apresentavam, a meio vão, com as armaduras muito corroídas, dado já terem sido objecto de recente substituição. É interessante salientar, por ser relevante em termos do comportamento estrutural da construção, que as lajes assentavam directamente sobre as vigas, sem qualquer armadura de vinculação, pelo que eram evidentes os registos – fendas – do trabalho não solidário entre estes elementos.
- perda de alguns pilares, com as correspondentes vigas a vencer o dobro do vão.

A **obra 2** é justamente aquela que, na cidade de Olhão, possibilita aos passageiros o embarque para a Ilha da Culatra. Em termos de concepção estrutural não difere muito da obra 1, excepto pelo facto de possuir uma ponte de acesso, em pórticos simples, e uma plataforma de acostagem, em pórticos duplos. É também uma obra da primeira metade do século, apresentando, então, as deficiências já descritas para a obra anterior, às quais se deverá acrescentar diversos erros de implantação, em especial no alinhamento entre pilares e estacas.



Figuras 3 e 4 – Pormenores da degradação existente na obra 2 em 1986

Os **embarcadouros da Ilha da Tavira e da Praia de Tavira** e mesmo o **embarcadouro da Porta Nova**, em Faro, reabilitadas em 1988 e 1989, apresentam, como as duas outras obras, patologias típicas destas construções marítimas do meio do século, em betão armado.

A **ponte da Ilha de Faro**, acesso rodoviário único – e em uma só pista de rodagem – à mais nobre praia da cidade de Faro, foi submetida, com o passar dos tempos, à actuação de sobrecargas de utilização que, de origem, não poderiam ter sido levadas em consideração nos cálculos, nomeadamente todo o tipo de autocarros turísticos e mesmo pesados camiões de transporte de areia.

É estruturada de maneira muito semelhante à descrita para as demais obras, em pórticos simples com um nível inferior de travessas – vigas e pilares-estaca – dispostos na direcção transversal à do deslocamento dos veículos, a suportar uma laje de pavimento, simplesmente

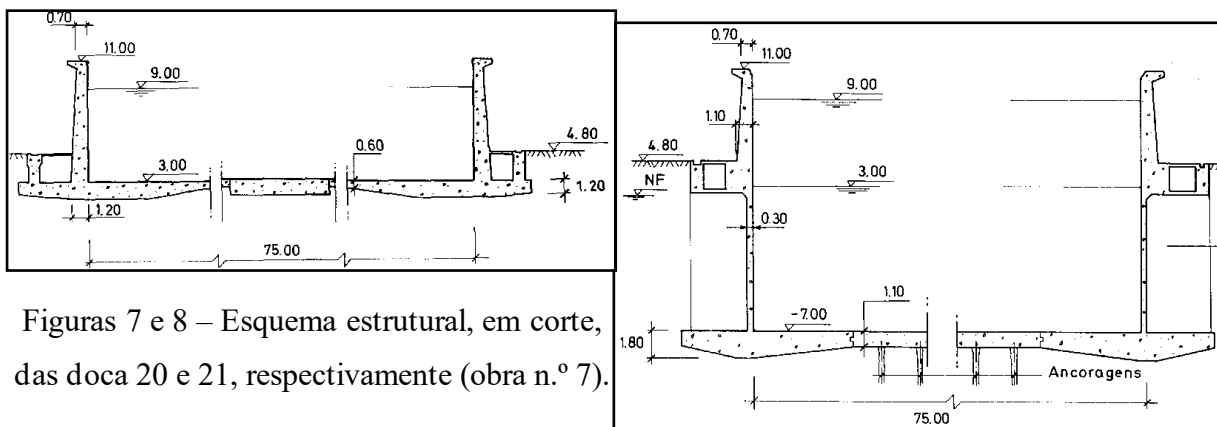
apoiada – desligada – nas vigas longitudinais. O típico sistema de degradação foi a deterioração do betão na zona aérea da estrutura por corrosão das armaduras.

Para fazer frente às alterações da sobrecarga a obra foi redimensionada, reparada e reforçada.



Figuras 5 e 6 – Ponte de acesso à Ilha de Faro e Desembarcadouro da Porta Nova, em 1990

A obra 7, **paredes das docas secas dos estaleiros da Setenave**, na Mitrena, apresenta características estruturais de uma caixa de betão armado semienterrada, sujeita a ciclos de molhagem e secagem com água salgada de periodicidade semanal. De entre as três docas secas existentes na Setenave para construção e reparação naval, as duas que foram objecto de reabilitação na empreitada em questão foram as docas 20 e 21, construídas no início da década de 70, em betão armado.



Figuras 7 e 8 – Esquema estrutural, em corte, das doca 20 e 21, respectivamente (obra n.º 7).

Ao cabo de 4 (quatro) anos após a inauguração já eram visíveis sérios danos decorrentes da corrosão dos varões das armaduras, com a consequente delaminação do betão de recobrimento em enormes placas de dezenas de metros quadrados.

Para além de diversas falhas de conceito e de pormenor acontecidas ainda em projecto, importa ressaltar ter sido o factor água/cimento usado na construção das docas ($> 0,7$) o responsável por possibilitar a rápida penetração de cloretos através de um betão muito poroso.

4
É
b
ir
si
A
si
p



- demolição integral da laje do pavimento, opção foi adoptada não apenas pelo elevado nível de corrosão das lajes como também pela deficiência da ligação destas as vigas, o que em muito diminuiu a capacidade resistente do conjunto face às acções horizontais e também às verticais;

- recuperação e reforço dos elementos estruturais dos pórticos – pilares, lintéis, carlingas e vigas longitudinais – não apenas com o intuito de eliminar as consequências visíveis da corrosão, como também para, na medida do possível, compatibilizar o dimensionamento estrutural – e a pormenorização das armaduras – com técnicas mais modernas. Importará aqui lembrar que a recuperação incidu, principalmente, nas regiões aéreas da estrutura, em especial nas ligações entre lajes e vigas, vigas entre si e entre vigas e pilares. Por forma a garantir a melhor ligação entre vigas e lajes, foram, por um lado, deixados estribos de continuidade e, por outro, tornadas rugosas as superfícies de contacto entre os diferentes betões;



Figuras 11 e 12 – Demolição de lajes e pormenor da ligação viga - laje

- a composição do m³ de betão projectado foi de 300 kg de cimento, areia cirandada, pedra $\varnothing \leq 10$ mm, sendo a adição de água, no canhão, controlada apenas pela experiência do cimenteiro. Os projectos cuidaram de especificar espessura de recobrimento mínima para as armaduras da ordem de 25 mm e de prever reposição da armadura apenas onde esta fosse absolutamente necessária, por forma a facilitar o lançamento de betão.



- as novas lajes foram executadas a partir de elementos pré-fabricados, placas, nos casos das obras 1 e 3, e vigotas de betão pré-esforçado, justapostas, nos casos das obras 2 e 4. Tal opção ficou-se a dever, principalmente, a necessidade de obviar os tempos de execução. A continuidade entre os painéis das lajes e entre estes e as vigas foi feita com betão projectado. Decidiu-se, em todas as obras, à excepção da obra 1, por aplicar uma camada adicional de argamassa projectada no soffito das lajes, por forma a aumentar a espessura de recobrimento.



Figuras 14 e 15 – Sistemas de execução das novas lajes de piso (obras 1 e 2, respectivamente)
A obra 5 trouxe, como inovação, a introdução de 15 kg de sílica activa em cada m³ de betão projectado, opção que teve por base a ideia de controlar a porosidade aberta do betão. No mais, o sistema executivo foi em tudo semelhante ao das quatro primeiras obras.

A obra 6, a ponte de acesso à Ilha de Faro, foi também recuperada com recurso à betão projectado ao qual foi adicionada sílica activa, também na percentagem, em peso, de 15% do cimento. Em termos de controle de qualidade e de sistematização dos métodos de intervenção, esta obra representou um avanço em relação às anteriores. Por existir também a necessidade de reforço, houve que personalizar a metodologia de execução dos trabalhos. Assim:

- as novas lajes foram executadas em vigotas pré-esforçadas pré-fabricadas e lâmina de compressão betonada convencionalmente, tendo as lajes existentes servido como cofragem, o

que permitiu o aumento da altura das vigas, necessário para fazer frente às novas solicitações. Foi colocado um plástico isolante na interface, para impedir a aderência entre o novo betão e o antigo. A laje antiga foi depois demolida, de baixo para cima, com recurso a martelos pneumáticos leves, sendo aplicada, por baixo, uma fina camada de argamassa projectada;



Figuras 16 e 17 – Sistema de reforço da obra 6

- as carlingas originais foram também demolidas, passado a estar embutidas na nova laje, que respondeu pela rigidez transversal do conjunto. Esta providência representou um extraordinário resultado, em termos de economia do tempo de execução.

A obra 7, reparação das docas dos estaleiros da Setenave é, comparativamente às demais, de outra geração. O projecto de execução estabeleceu, de entre várias, as seguintes exigências, visando garantia de bom desempenho da obra pelo menos por mais 30 (trinta) anos:

- montagem de laboratório na obra, para verificação de conformidade de materiais e trabalhos;
- remoção integral do betão de envolvimento das armaduras das paredes, incluindo todo o recobrimento e pelo menos 20 mm para trás dos varões, por forma a prevenir a migração dos cloretos concentrados na parte remanescente;



Figuras 18 – Sistemas de verificação de conformidade e controle de qualidade

- recomposição das secções por aplicação de betão projectado (via seca), $f_{ck} \geq 40$ MPa, dosagem de cimento entre 350 e 400 kg/m³, 15 kg/m³ de sílica activa, razão A/C ≤ 0.40 , profundidade de penetração de água no ensaio de permeabilidade ≤ 10 mm, para coeficientes de permeabilidade $\leq 3.6 \times 10^{-12}$ m/s, coeficiente de porosidade aberta ≤ 15 % e cura por aspersão contínua de água durante um período mínimo de 14 (catorze) dias.

A obra foi muito exigente, dado o exíguo prazo de execução, a necessidade de conviver com a normal operação do estaleiro, incluindo o sistema de enchimento e esvaziamento das docas e a própria altura das paredes, implicando trabalho contínuo sobre bailéus.



Figuras 19 e 20 – A dificuldade executiva da obra 7, na remoção e aplicação do betão

5. O ESTADO ACTUAL DAS OBRAS – PRIMEIRA INSPECÇÃO

5.1. Metodologia das inspecções

O Projecto LIFE contempla, de entre outras vertentes, a avaliação do desempenho de sistemas de reparação, objectivo a ser alcançado mediante o vencer de várias etapas, a primeira das quais compreende a caracterização básica do actual estado de obras já reparadas, com base na inspecção visual, na execução de ensaios expeditos e de medição e na análise dos documentos originais, para definir as que virão a merecer prioridade de pesquisa na segunda etapa.

As obras 1 a 6 são justamente as primeiras a terem sido incluídas neste projecto. A obra 7, já sobejamente analisada e discutida em diversas outras pesquisas, aqui entrou para que fosse possível, com toda credibilidade e certa facilidade, estabelecer sólidos parâmetros de referência.

A metodologia adoptada para as inspecções e correspondentes ensaios foi:

- análise de toda a documentação original disponível, incluindo peças escritas e desenhadas correspondentes às obras de reabilitação, registos de andamento da obra, propostas e orçamentos, actas de reunião, etc.;
- registo, em fotografia digital, dos aspectos mais interessantes apontados durante a inspecção visual, com a devida identificação dos correspondentes elementos estruturais;
- avaliação da espessura de recobrimento das armaduras com um pacómetro. O medidor de recobrimento é um aparelho portátil, alimentado por pilhas e cuja unidade de leitura (que tem incorporado um microprocessador) possui um visor que indica a espessura do recobrimento em milímetros e dois sensores para gamas de espessura de até 120 e de 250 mm. O método de detecção de armaduras é auxiliado por um sistema áudio, variável com a distância às armaduras;
- aspersão de uma solução alcoólica de fenolftaleína, a 0,1%, em aberturas recém executadas de profundidades crescentes, por forma a que, através da observação da mudança de cor da solução para púrpura, seja determinada, localizadamente, a profundidade da frente de carbonatação do betão;
- determinação da concentração do ião de cloro no betão, ou, mais precisamente, o teor, solúvel em ácido, de cloretos existentes no betão, o que é feito através da recolha de pó do betão em três diferentes profundidades (junto à superfície, junto às armaduras e por detrás das armaduras), seguida da dissolução da amostra numa solução ácida normalizada. Um eléctrodo, depois de devidamente calibrado, é introduzido na solução, medindo a condutividade eléctrica. Correlaciona-se, então, a concentração de cloretos com a condutividade da solução.

Os resultados dos procedimentos de inspecção preliminares são de seguida apresentados.

5.2. Obra 1: ponte-cais da Ilha da Culatra (1987)

A primeira impressão, ao se inspeccionar a obra da Culatra, pode levar à conclusão de que os trabalhos de reabilitação não tenham corrido bem, dada a constatação de que, em vários pontos, em particular nas ligações entre pilares e vigas e nas arestas destas, é evidente o processo de corrosão das armaduras envolvidas pelo betão projectado (veja-se as fotos 21 e 22).



Figuras 21 e 22 – Evidência de corrosão em elementos estruturais da obra 1 (2000)

Haverá, no entanto, que considerar os objectivos que nortearam aquela reabilitação, nomeadamente o período de vida útil então estabelecido para a reparação pelo Dono da Obra: dez anos. Se considerada a definição de vida útil constante do CEB – Durable Concrete Structures Design Guide (1989), “*VIDA ÚTIL de uma construção será o período em que esta conserva os requisitos de projecto quanto a segurança, funcionalidade e estética sem custos inesperados de manutenção*”, salvaguardadas as questões localizadas relativas à estética, aliás pouco visíveis (foto 23) à não ser por debaixo da laje, os trabalhos de reparação terão superado as expectativas, pois a obra, volvidos treze anos, continua plenamente operacional.



Figuras 23 e 24 – Vista lateral da obra e fendas, sobre o pilar, na ligação das lajes

Claro está que esta é apenas uma forma, ligeira, de analisar a questão. A outra, complementar a esta, consiste em identificar os pontos em que a metodologia utilizada falhou e, a partir

desta análise, estabelecer critérios para que mesmo em casos de vida útil reduzida tais deficiências não voltem a acontecer. Neste sentido, três aspectos merecem comentário:

- a solução em lajes pré-fabricadas exige reforço das armaduras laterais, sobre os pilares e em toda a altura das vigas;
- a corrosão nos pontos mais “vivos” da estrutura está directamente relacionada com a deficiente espessura da camada de recobrimento das armaduras neste ponto ou, por outro lado, com falhas no controle de qualidade desta tarefa;
- a corrosão hoje existente deve-se, sem dúvida, à elevada concentração de cloretos (superior a 3%, em relação ao peso de cimento), já que a carbonatação é superficial. Tão alto teor de cloretos pode ficar a dever-se a dois factores: um betão pouco resistente à penetração de cloretos, para ambiente tão agressivo, e/ou a indevida utilização de areia local na mistura.

5.3.Obra 2: embarcadouro de Olhão (1987)

A obra de reparação do embarcadouro de Olhão foi executada quase que em simultâneo à da ponte-cais da Culatra, com utilização da mesma mão de obra e, pelo menos em termos de encomenda, dos mesmos materiais. Não seriam de se esperar, portanto, resultados muito distintos entre as duas obras. No entanto, e talvez como consequência de um acesso mais difícil às vigas e pilares, a irregularidade da espessura de recobrimento das armaduras é maior nesta obra. Também aqui a carbonatação é superficial. O teor de concentração de cloretos é, em média, superior ao da obra da Culatra: 4% do peso de cimento.



Figuras 25 e 26 – Estribo dos pilares à vista e fenda na laje

Importa comentar que o desempenho das vigotas pré-esforçadas como elemento básico do núcleo das lajes – cofragem – ficou aquém das expectativas, em especial no que concerne à movimentação relativa entre duas vigotas consecutivas (foto 26).

Em termos da consecução ou não dos objectivos pretendidos com a realização dos trabalhos de reabilitação, valem, para o embarcadouro de Olhão os comentários feitos para a obra 1. Em

especial importará referir a apreciável melhoria conseguida no que concerne a monoliticidade da estrutura, obtendo-se ligações mais adequadas entre os seus vários elementos resistentes.

5.4.Obra 3 e 4: embarcadouros da Ilha de Tavira e da Praia de Tavira (1988)

As obras 3 e 4 foram realizadas em simultâneo e logo em seguida às obras 1 e 2. Quanto às dificuldades de acesso, aproximam-se mais às da obra de Olhão. Em termos de identificação dos agentes agressores, importa registar que também nestas obras a carbonatação é superficial (foto 27), sendo, no entanto, elevados os níveis de concentração de cloretos: 3 % e 2,5 % do peso de cimento, em média, respectivamente.



Figuras 27 – Ensaio de carbonatação na obra 4

A execução foi menos cuidada nestas duas obras, relativamente às demais, particularmente no que concerne ao controle da razão A/C e em especial para as argamassas de revestimento, o que resultou num alto índice de fissuração por retracção (foto 29). Também nestas obras foi evidente o comportamento desigual dos elementos dos núcleos das lajes, com a consequente formação de juntas, por entre as quais deu-se a percolação de água (foto 28).



Figuras 28 e 29 – Fendas na laje e fissuração superficial do betão, por retracção

5.5.Obra 5: embarcadouro da Porta Nova (1989)

A utilização de sílica activa na mistura trouxe inegáveis benefícios ao betão projectado aplicado na obra de reparação do embarcadouro da Porta Nova, em Faro: os elevados teores de concentração de cloretos à superfície (3,5 % do peso de cimento) caem para 0,6 % ao nível das armaduras, evidenciando que o recobrimento constitui-se, efectivamente, numa barreira.



Figura 30 – Aspecto actual da obra 5 (2000)

Também os resultados de um controle de execução mais apertado se fizeram sentir na obra 5, onde se observa uma maior regularidade em termos da espessura da camada de recobrimento das armaduras, que cifrou-se, em média, nos 31 mm. Apesar do bom aspecto geral da obra (foto 30), existem também, no entanto, os registos, ainda que discretos, do mau comportamento do pavimento (vigotas).

5.6.Obra 6: ponte de acesso à Ilha de Faro (1990)

A relação entre um betão melhorado pela adição de sílica activa, aplicado sob um bom controle de execução, e a obtenção de melhores resultados nos parâmetros indicadores da qualidade, aspectos que já se adivinhavam a partir da inspeção na obra 5 confirmaram-se na obra 6: espessuras de recobrimento regulares, nenhum sinal de carbonatação, melhor funcionamento das ligações entre elementos pré-fabricados e o betão projectado e teores de concentração de cloretos, a nível das armaduras, da ordem de (0,32 % do peso de cimento). Pode-se mesmo dizer que, nesta obra, salvo algumas – poucas – fendas (foto 32) entre as vigotas das lajes (cuja interligação foi, nesta obra, melhor armada), não foram identificadas quaisquer anomalias dignas de registo.



Figuras 31 e 32 – Aspecto actual da obra 6

5.7.Obra 7: paredes das docas do Estaleiro da Setenave (1991)

Para referenciar o estado actual de conservação da obra 7 refira-se o relatado pelo Prof. António Costa em sua tese sobre o assunto, onde considera que o produto final atingido atendeu plenamente aos objectivos estabelecidos pelo Dono da Obra:

- penetração de água, no ensaio de permeabilidade: < 19,0 mm;

- coeficiente médio de porosidade aberta: 13,2 %;
- coeficiente de difusão dos cloretos, à superfície, aos 60 meses: $3,6 \times 10^{-12}$ m/s;
- teor de cloretos, à superfície, aos 60 meses, em relação ao peso de betão: 0,29 %;
- teor de cloretos, ao nível das armaduras, aos 60 meses: 0,20 %;
- vida útil previsível: 60 anos.

6. CONCLUSÕES

Ao concluir esta primeira etapa dos trabalhos, os autores, que gozaram da oportunidade – quiçá rara – de acompanhar todas as etapas das intervenções de reparação destas obras, sentem-se com a confortável consciência de uma experiência consolidada. Não se está, portanto, a teorizar sobre a matéria, mas sim a beber das inúmeras informações colhidas de um conjunto valioso e extremamente representativo de situação reais de trabalhos de reparação estrutural.

Fica a certeza de que os aspectos de durabilidade de uma obra devem ser claramente definidos na fase de projecto, quer se trate de uma construção nova, quer se esteja a lidar com trabalhos de reparação e/ou reforço. Os mais recentes estudos têm que demonstrado as falhas de pormenor, cometidas em fase de projecto, são responsáveis por mais de 30 % dos insucessos, em termos de deficiente desempenho das construções.

Neste sentido, tanto para construções novas quanto para intervenções de reabilitação é fundamental estabelecer, à partida, a vida útil que se deseja e agir em conformidade.

Não bastará, em qualquer caso (reabilitação ou construção) especificar a resistência mecânica de um betão. Indicadores como a permeabilidade à água e a porosidade aberta permitem assegurar uma determinada durabilidade, mormente em se tratando de uma estrutura com o betão aparente, sem pintura ou revestimento protector. Formar a ideia de que a mais adequada cura e a conveniente protecção exterior do betão estará sempre associada o alargamento da vida útil da construção é também indispensável.

Estas são as primeiras recomendações emanadas deste árduo trabalho em que se observou e analisou diversas obras marítimas em que os factores comuns determinantes para a durabilidade são a exposição a um ambiente marítimo rico em cloretos e o facto do betão armado não ser protegido por outro mecanismo que não seja a resistência do recobrimento das armaduras à penetração dos agentes agressivos do meio. Outra característica própria de todas estas obras foi a técnica de colocação do material de reparação – o betão projectado aplicado por via seca.

O estado de conservação das obras, mais de dez anos após a reparação, mostrou ser proporcional ao nível das especificações de projecto e aos correspondentes cuidados tomados

na execução. Esta constatação simples corresponde essencialmente a uma abissal diferença em termos de durabilidade e da conseqüente vida útil esperada (e verificada).

Às obras em que hoje se pode observar o início da corrosão (fase de propagação), o Dono da Obra havia atribuído uma vida útil de dez anos. As expectativas foram, portanto, atendidas. Para a obra em que se exigiu uma durabilidade superior, as Docas da Setenave, constata-se que volvidos dez anos o seu estado é muito bom, mostrando os indicadores de durabilidade avaliados uma elevada protecção do betão de recobrimento às armaduras. Foi igualmente cumprido o especificado no projecto em termos de durabilidade.

Se assim é, o que faz a diferença? Muito embora se possa verificar que todas as obras cumpriram satisfatoriamente a expectativa do Dono de Obra em termos de durabilidade, podemos concluir que, com um acréscimo de custos pouco significativo, facilmente se passa de uma vida útil da obra reparada de dez para trinta anos.

Dos ensaios efectuados constatou-se que os parâmetros que indiciavam a diferença eram o teor de cloretos ao nível das armaduras associado à espessura e qualidade do recobrimento.

A forma de garantir a elevada durabilidade numa reparação com betão projectado em ambiente marítimo resume-se em impedir o acesso, ao nível das armaduras, de concentrações elevadas de cloretos (superiores a 0,4% do peso de ligante), pelo que se deverá especificar:

- recobrimento de pelo menos 4 cm;
- baixa permeabilidade à água;
- baixo coeficiente de difusão de cloretos.

Recomenda-se vivamente que o betão seja impermeabilizado, como, por exemplo, por barramento de base cimentícia, que sele a estrutura porosa do betão. Será de todo conveniente desenvolver-se, sempre, um estudo cuidadoso da composição, com o cuidado de utilizar agregados isentos de cloretos e prever a adição de sílica activa. É fundamental que sejam adequadamente cuidados, com a conveniente disposição de armaduras, os pontos críticos da estrutura, em especial a movimentação diferenciada entre elementos estruturais.

7. REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, M. FERREIRA, M. – Corrosão Atmosférica – Mapas de Portugal, INETI, 1998;
CEB – Durable Concrete Structures – Design Guide, Thomas Telford, 1992;
RIPPER, T. – Desastres Anunciados em Estruturas – Universidade do Algarve, 2000;
Costa, A. – Mecanismos de Deterioração em Estruturas de Betão Armado – IST, 1999.