Anais do Congresso Brasileiro de Patologia das Construções
CBPAT2016

Abril de 2016
ISSN 2448-1459

ENGENHARIA DIAGNÓSTICA APLICADA A RESERVATÓRIO DE ÁGUA EM AMBIENTE INDUSTRIAL

A.GALLETTO
Engª Civil, Doutoranda
FT UNICAMP / Apoena Engenharia
São Paulo; Brasil
adriana@apoena.eng.br

J.M.ANDRELLO
Eng. Civil, Esp. Patologia e Impermeabilização
Petra Consultoria
São Paulo; Brasil
contato@petraconsultoria.com.br

RESUMO

Além da resistência mecânica, a durabilidade do concreto passou a ser, na última década, um dos requisitos mais desejados pelos projetistas, construtores e proprietários destas estruturas. Atualmente, a durabilidade pretendida pode ser alcançada devido aos avanços na área de tecnologia do concreto e mediante a adoção de critérios de qualidade nos canteiros de obra e usinas de concreto . No entanto, o mesmo não ocorre no caso das estruturas mais antigas que, não raro, apresentam patologias por falhas construtivas ou de manutenção, atreladas à características originais de projeto com cobrimento e resistência do concreto que não consideravam a agressividade a qual esse concretro estaria submetido. Mediante esses aspectos, o presente trabalho apresenta o caso de um reservatório de água elevado com aproximadamente 30 anos de idade, em deterioração, inserido em ambiente industrial e que, por meio da engenharia diagnóstica, deixou de ser demolido e está em processo de recuperação. Isso se tornou possível a partir de um criterioso estudo das patologias que afetavam o reservatório e suas causas, inclusive com a realização de ensaios destrutivos e não destrutivos e, posteriormente, com os resultados obtidos durante a investigação, a elaboração de um projeto de recuperação, impermeabilização e proteção do concreto, visando aumento de sua vida útil.

Palavras-chave: concreto, patologia, recuperação estrutural, durabilidade.

ABSTRACT

In addition to the mechanical strength, durability of concrete has become in the last decade, one of the most desired requirements for designers, builders and owners of these structures. Currently, the desired durability can be achieved due to advances in concrete technology area and by adopting quality standards in construction sites and concrete plants. However, the same doesn't occur in the case of older structures, often present conditions for construction or maintenance failures, linked to the original features of design with concrete cover and concrete strength didn't consider the aggressiveness which this concretro be submitted . Through these aspects, this paper presents the case of a high water tank with about 30 years old, deteriorating, inserted in an industrial environment and, through diagnostic engineering, ceased to be demolished and is in recovery process. This is made possible from a thorough study of pathologies affecting the reservoir and its causes, including conducting destructive testing and non-destructive testing and, later, with the results obtained during the investigation, the development of a recovery project, waterproofing and protection of concrete, aiming to increase its useful life.

Keywords: concrete, pathology, structural recovery, durability.

Abril de 2016
ISSN 2448-1459

1. INTRODUÇÃO

O comitê 201 do ACI [1] define a durabilidade do concreto de cimento Portland como a sua capacidade de resistir à ação das intempéries, ataques químicos, abrasão ou qualquer outro processo de deterioração, ou seja, o concreto durável conservará a sua forma original, qualidade e capacidade de utilização quando exposto ao meio ambiente. Segundo a norma da ABNT NBR 15575 [2], a durabilidade está diretamente relacionada à vida útil, que significa o período de tempo compreendido entre o início de operação ou uso de um produto e o momento em que seu desempenho deixa de atender aos requisitos preestabelecidos do usuário.

Cuidados com a durabilidade, que hoje são primordiais, não faziam parte dos projetos e construções das estruturas de concreto brasileiras mais antigas, onde o foco era apenas a resistência mecânica do concreto. Somente a partir de 2003, com a maior revisão pela qual já passou a norma da ABNT NBR 6118 [3], cuidados com relação água/cimento, cobrimento das armaduras e classe do concreto em função do ambiente onde a estrutura estaria inserida, passaram a fazer parte das nossas obras. No que se refere à execução, a NBR 14931 [4] apresenta requisitos sobre os cuidados com fôrmas, armaduras, escoramentos, lançamento, adensamento, acabamento e cura do concreto, de maneira a contribuir para a qualidade e consequentemente para a durabilidade das estruturas de concreto.

Diante disso, perda precoce de vida útil é comumente identificada em elementos mais antigos de concreto armado, principalmente nos grandes centros urbanos, regiões litorâneas e ambientes industriais, onde fissuras e corrosão das armaduras estão entre as manifestações patológicas mais corriqueiras, mas que, muitas vezes, somente chamam a atenção de leigos quando o estado geral da estrutura já é crítico.

De acordo com Tutikian e Pacheco [5], o primeiro passo para o diagnóstico correto de uma manifestação patológica é a realização da inspeção, para se fazer uma coleta de dados e identificar os sintomas observados, sua localização e intensidade. Em alguns casos, um profissional experiente consegue, apenas pela inspeção visual, determinar a causa da patologia, porém, muitas vezes, a realização de ensaios específicos e análise dos projetos são fundamentais para auxiliar no diagnóstico, além de contribuir significativamente para a especificação da terapia mais adequada a ser adotada.

Para estruturas de concreto convencionais, sob condições normais de operação, o CEB-FIP [6] sugere os seguintes intervalos de tempo para a realização de inspeções:

- Edificações habitacionais e comerciais – a cada 10 anos;
- Edificações industriais – entre 5 e 10 anos;
- Pontes – entre 2 e 6 anos.

Sobre a periodicidade sugerida pelo CEB, Husni [7] salienta que se a inspeção encontra uma situação satisfatória, a estrutura pode continuar a ser utilizada sem qualquer intervenção até que uma nova inspeção periódica seja realizada, a menos que no intervalo entre as inspeções, alguma manifestação precoce justifique uma reavaliação, ou seja adotada uma abordagem preventiva.

Nesse sentido, a manutenção pode ser corretiva, para recuperar determinado dano; manutenção preventiva, para manter o desempenho das estruturas; preditiva ou detectiva, que acompanha através de instrumentação o desempenho da estrutura; constituindo então a engenharia de manutenção, que é a forma mais eficiente de garantir o desempenho e vida útil das estruturas, diminuindo a possibilidade de falhas, de acordo com Tutikian e Pacheco [5].

2. CARACTERÍSTICAS GERAIS DO RESERVATÓRIO AVALIADO

O reservatório avaliado tem aproximadamente 30 anos de idade, apresenta diâmetro externo de 4,00m e altura de 39,50m. É dividido em 5 células, sendo uma enterrada e subdividida em 2 partes, uma no nível do solo que abriga a casa de bombas e 3 células elevadas (figura 1). Suas paredes e lajes são de concreto armado, com espessura de 0,25m; externamente as paredes são revestidas por argamassa de reboco cimentícia com pintura látex, internamente as paredes e lajes de fundo receberam argamassa polimérica cimentícia para impermeabilização com reforço em tela de poliéster; as lajes de cobertura não possuem nenhum tipo de revestimento ou sistema de proteção.

Além da estrutura se tratar de um reservatório de armazenamento de água clorada, que por este motivo já se mostra suscetível a um risco grande de deterioração em suas faces internas, este se localiza em atmosfera industrial e, portanto, segundo a NBR 6118 [3], inserido em ambiente com forte agressividade ambiental também em suas faces externas.

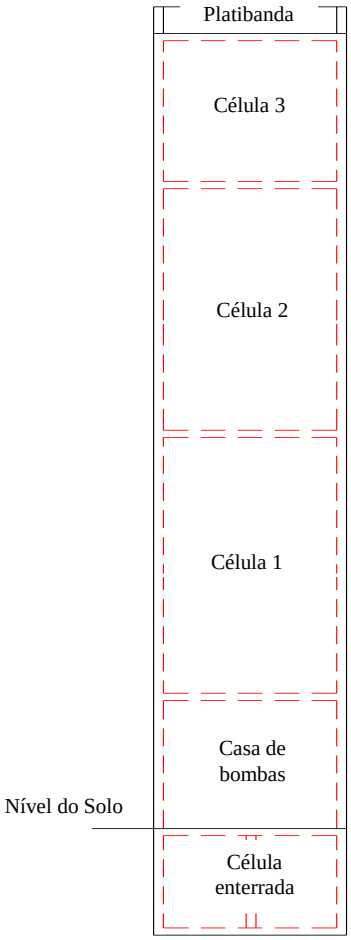

Figura 1: Desenho esquemático com nomenclatura adotada para as células.

3. METODOLOGIA

O trabalho iniciou-se com uma inspeção visual minuciosa, com objetivo de identificar as manifestações patológicas que afetavam as faces externas e internas do reservatório e também para a determinação dos pontos que passariam por ensaios não destrutivos e destrutivos. Para a realização da inspeção externa utilizou-se balancim individual tipo "cadeirinha". Internamente o acesso às células se deu com escadas extensíveis.

3.1. Ensaios realizados

Os ensaios foram realizados com objetivo de analisar as reais causas das manifestações patológicas e para que, a partir dos resultados obtidos, se pudesse elaborar o mais efetivo, em termos técnicos e econômicos, projeto de recuperação e proteção estrutural, de forma a aumentar a vida útil do reservatório.

Os testes e ensaios realizados são suscintamente descritos a seguir.

3.1.1. Teste de Percussão

Realizado para avaliação da integridade e aderência dos revestimentos, por meio do som obtido através de impactos leves com martelo. O som cavo, no caso do concreto armado, significa que o cobrimento de concreto sobre a armadura está com destacamento (ou desplacamento), o que geralmente ocorre em função da corrosão das armaduras ou grandes vazios internos e, no caso de revestimentos argamassados, significa que há falhas na sua aderência com o substrato, indicando ainda os pontos onde o ensaio de resistência de aderência à tração é recomendado.

Abril de 2016
ISSN 2448-1459

3.1.2. Medições de fissuras

Para a medição das fissuras utilizou-se um fissurômetro da marca Trident, adotando-se como referência para avalição a norma NBR 6118 [3], que limita a abertura das fissuras em função do tipo de estrutura e do ambiente onde a mesma está inserida. A verificação foi realizada por amostragem, na platibanda de concreto do reservatório pela face interna, onde o concreto é aparente sem revestimento de argamassa de reboco, e no interior das células aplicado sobre as lajes de cobertura por estas serem as regiões desprovidas do sistema impermeabilizante e que, assim, permitiam a visualização e consequente medição das fissuras.

3.1.3. Pacometria

Ensaio não destrutivo para avaliação do cobrimento de concreto sobre as armaduras. Tem ainda como função determinar o posicionamento das barras de aço no interior do concreto, para que as mesmas não sejam cortadas durante a extração de testemunhos e também para que não interfiram nos resultados de outros ensaios onde se pretende avaliar o concreto como, por exemplo, a esclerometria e o ultrassom.

O ensaio foi realizado por amostragem tendo-se como referência o ACI 228 2R-13 [8], com equipamento Profoscope da marca Proceq, nas paredes externas do reservatório (descontando-se a espessura do reboco para adequada avaliação dos resultados), nas faces internas da platibanda e nas lajes de cobertura e paredes acessíveis das células do reservatório (neste caso descontando-se a espessura do sistema impermeabilizante),

3.1.4. Esclerometria

O ensaio foi realizado com equipamento digital da Proceq para avaliação da dureza superficial do concreto de acordo com os critérios da norma da ABNT NBR 7584 [9]. Foi aplicado nas lajes de cobertura acessíveis e paredes internas das células do reservatório, em regiões desprovidas do sistema impermeabilizante, ou onde foi possível a sua remoção por prévio descolamento voluntário. Externamente, o ensaio foi realizado na platibanda e na parede da casa de bombas, posteriormente remoção da camada de reboco.

3.1.5. Ultrassom

Ensaio não destrutivo que, na estrutura de concreto, tem como finalidade a determinação da compacidade e homogeneidade do material, identificando segregações que não podem ser vistas a olho nu, com base nas normas americana ASTM C597 [10] e brasileira ABNT NBR 8802 [11]. O ensaio foi realizado com equipamento suíço Pundit Lab+ da Proceq nas paredes e lajes acessíveis do reservatório.

3.1.6. Ensaio de resistência à compressão

Para a realização do ensaio, foram extraídos testemunhos do concreto na região da platibanda, da parede da célula 2 (área “gasosa”) e da parede da casa de bombas do reservatório. A preparação das amostras e o ensaio de resistência à compressão, com utilização de prensa hidráulica Pavitest Cotenco, foram realizados no Laboratório de Materiais de Construção da Faculdade de Tecnologia da UNICAMP, de acordo com a norma NBR 7680 [12].

3.1.7. Determinação da profundidade de carbonatação do concreto

A avaliação da profundidade de carbonatação foi realizada por meio de aspersão de solução de fenolftaleína sobre os testemunhos de concreto (os mesmos que posteriormente passariam pelo ensaio de resistência à compressão) e sobre lascas de concreto, recém extraídos do reservatório.

3.1.8. Avaliação de contaminação do concreto por cloretos

O ensaio para avaliação de contaminação por cloretos foi realizado sobre amostras de pó de concreto, obtidos por processo de trituração de pedaços de concreto extraídos do reservatório. Este pó foi devidamente acondicionado e submetido a ensaio químico para avaliação do teor de cloretos, com base no método descrito no Boletim n° 25 do IPT [13].

3.1.9. Resistência de aderência à tração – Pull Off

O ensaio foi realizado tanto interna quanto externamente, com equipamento de tração manual da marca Solotest. Nas superfícies de concreto o objetivo foi avaliar sua capacidade portante para receber os devidos procedimentos de reparo e impermeabilização, com base nas recomendações da norma inglesa BS EN 1542 [14] e da norma americana ASTM C1404 [15]; nas superfícies externas com argamassa de reboco, o objetivo foi avaliar sua aderência em relação ao substrato, de acordo com as recomendações propostas pelas normas brasileiras ABNT NBR 13528 [16] e NBR 13749 [17].

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Inspeção visual

A inspeção possibilitou uma visão global do estado de deterioração do reservatório, com mapeamento dos pontos mais críticos e que, por esse motivo, passariam pelos ensaios. Foi possível ainda observar a existência de resquícios de reparos anteriores mas que, provavelmente por falhas no processo de preparação do substrato e/ou pela utilização de materiais inadequados, não foram efetivos.

As principais patologias detectadas visualmente são apresentadas a seguir (figuras 2 a 9).



Figura 2: Degradação generalizada da pintura e do revestimento de argamassa (reboco) externo, com som cavo, detectado pelo teste de percussão, e fissuras em diversos pontos do reservatório.



Figura 3: Desplacamento do cobrimento de concreto por corrosão das armaduras, em pontos aleatórios, na face externa do reservatório.



Figura 4: *Pite* de corrosão na parede externa, indicando possível corrosão por ação de cloretos.



Figura 5: Degradação generalizada do sistema de impermeabilização, observada no interior de todas as células do reservatório.

Abril de 2016
ISSN 2448-1459



Figura 6: Laje de cobertura da célula 3 apresentando pontos aleatórios com armaduras expostas e em processo avançado de corrosão. Em alguns pontos observam-se resquícios de reparos anteriores, sem efetividade.



Figura 7: Laje de cobertura das células 2 e 1 com corrosão grave das armaduras, de forma generalizada, inclusive com perda de seção e seccionamento das barras de aço em alguns pontos.



Figura 8: Desplacamento do concreto com ocorrência nas lajes de cobertura das células 2 e 1, devido ao processo de corrosão avançado das armaduras.



Figura 9: Armaduras expostas e corroídas em pontos das paredes internas das células 2 e 1, na região “gasosa”. Notam-se resquícios de reparos anteriores, sem efetividade.

4.2. Ensaios

4.2.1. Teste de percussão

Nas paredes externas, revestidas por argamassa cimentícia de reboco, 71% dos pontos avaliados apresentaram som cavo, indicando falhas na aderência do revestimento com o substrato de concreto, o que posteriormente foi corroborado pelo ensaio de resistência de aderência à tração.

Na platibanda, pela face interna em concreto aparente, dentre os pontos avaliados, 50% apresentaram som cavo, com predominância nas regiões perimetrais às armaduras já expostas.

A laje de cobertura da célula 3 apenas apresentou som cavo em pontos isolados, nas regiões perimetrais às armaduras expostas, indicando possíveis destacamentos futuros do concreto, enquanto a laje da célula 2 apresentou som cavo em 100% dos pontos ensaiados, inclusive com destacamento do concreto mediante o teste (que é feito com golpes leves, não contundentes), indicando um grau de deterioração elevado. A laje da casa de bombas não apresentou som cavo em nenhum dos pontos avaliados. As lajes da célula 1 e da célula enterrada não puderam ser avaliadas em função de inacessibilidade.

4.2.2. Medições de fissuras

O teste foi aplicado, por amostragem, nas paredes externas do reservatório elevado, nas platibandas de concreto pela face interna e, no interior das células, aplicado sobre as lajes de cobertura por estas serem as regiões desprovidas do sistema impermeabilizante e que, assim, permitiam a visualização e consequente medição das fissuras.

Nas paredes externas as fissuras apresentaram aberturas variando de 0,05 mm até 0,8 mm, sendo a maioria delas de até 0,4 mm e que se propagavam por todo o reboco, em forma de mapa, indicando retração da argamassa de reboco (por onde podem ocorrer infiltrações de água de chuva e orvalho e consequente perda de aderência com o substrato). As fissuras com abertura acima de 0,5 mm foram observadas principalmente nas regiões de insertos metálicos, que se mostravam enferrujados, e na interface entre paredes e lajes.

Nas faces internas da platibanda (desprovida de argamassa de revestimento), as fissuras apresentaram aberturas entre 0,1 mm até 0,4 mm com ocorrência, predominantemente, nas proximidades das armaduras expostas e em processo de corrosão.

A laje de cobertura da célula 3 apresentou fissuração com aberturas de 0,1 mm até 0,4 mm, com predominância nas regiões afetadas pela corrosão do aço. A laje de cobertura da célula 2, muito deteriorada, apresentou fissuração com aberturas entre 0,5 mm até 1,7 mm sendo a maioria relacionada ao destacamento do concreto por corrosão das armaduras. Na laje de cobertura da casa de bombas, talvez pela existência de pintura em bom estado de conservação, foram detectadas apenas 4 fissuras com aberturas variando entre 0,05 mm até 0,1 mm. As lajes da célula 1 e da célula enterrada não puderam ser avaliadas em função de inacessibilidade.

No caso de reservatórios de água, a abertura máxima de fissuras no concreto permitida pela norma NBR 6118 [3] é de 0,2 mm entretanto, é importante ressaltar que fissuras de 0,2 mm já são suficientes para permitir a percolação de líquidos que, dependendo da sua composição química, deterioram o concreto e as armaduras.

4.2.3. Pacometria

Para avaliação dos cobrimentos a norma seguida foi a NBR 6118:1982 [18] da ABNT, vigente na época em que o reservatório foi projetado e construído, e que determinava as espessuras de cobrimento de 15 mm para lajes e 20 mm para pilares e vigas. As Tabelas 1 e 2 apresentam os resultados obtidos com o ensaio.

Tabela 1 – Resultados do Ensaio de Pacometria – Faces Internas.

Item	Local	Elemento Estrutural	Cobrimento (mm)	Item	Local	Elemento Estrutural	Cobrimento (mm)
1	Platibanda	Parede	26,0	20	Célula 1	Parede	14,0
2			17,0	21			20,0
3			9,0	22			4,0
4			5,0	23			46,0
5			47,0	24			16,0
6	Célula 3	Parede	21,0	25	Casa de bombas	Parede	29,0
7			16,0	26			47,0
8			32,0	27			9,0
9			29,0	28			27,0
10		Laje de cobertura	18,0	29			11,0
11			12,0	30		Laje de cobertura	16,0
12			9,0	31			20,0
13	Célula 2	Parede	23,0	32			19,0
14			7,0	33	Célula enterrada	Parede	18,0
15			37,0	34			20,0
16			10,0	35		Laje de cobertura	11,0
17		Laje de cobertura	5,0	36			16,0
18			12,0	37			14,0
19			17,0	38			17,0

Tabela 2 – Resultados do Ensaio de Pacometria – Faces Externas.

Item	Local	Elemento Estrutural	Cobrimento (mm)	Item	Local	Elemento Estrutural	Cobrimento (mm)
1	Platibanda	Parede	18,0	13	Célula 1	Parede	20,0
2			22,0	14			17,0
3			25,0	15			11,0
4			13,0	16			23,0
5	Célula 3	Parede	22,0	17	Casa de bombas	Parede	9,0
6			43,0	18			35,0
7			28,0	19			21,0
8			17,0	20			13,0
9	Célula 2	Parede	24,0	21			25,0
10			32,0				
11			8,0				
12			15,0				

Observa-se nas Tabelas 1 e 2 que dentre os pontos ensaiados internamente, 47% não apresentou cobrimento em atendimento a norma vigente quando o reservatório foi projetado e, externamente, 42% dos pontos ensaiados não atendeu a norma. O fato de haver variação nos cobrimentos medidos, indica falhas na etapa de construção do reservatório, já que alguns pontos mostram cobrimentos bem acima do mínimo esperado.

Apenas para salientar a importância do cobrimento, a atualização da NBR 6118 [3] ocorrida em 2003, passou a ser mais rigorosa em relação aos cobrimentos de concreto sobre as armaduras, com objetivo de garantir maior durabilidade às estruturas, onde prescreve, para este tipo de estrutura, 25 mm para as lajes e 30 mm para as paredes externas do reservatório e, 35 mm para as lajes e 40 mm para as paredes internas do reservatório. Requisitos estes que foram considerando para eleboração do projeto de terapia.

4.2.4. Esclerometria

Os resultados obtidos com o ensaio de esclerometria são apresentados na Tabela 3 onde, apesar da variação na homogeneidade do concreto, os resultados de resistência superficial foram satisfatórios, considerando-se a idade do reservatório, com exceção dos itens 2 (parede platibanda), 11 e 13 (laje de cobertura da Célula 3) que apresentaram baixa resistência superficial.

Tabela 3 – Resultado do Ensaio de Esclerometria.

Item	Local	Elemento Estrutural	Fc (MPa)	Item	Local	Elemento Estrutural	Fc (MPa)
1	Platibanda	Parede	21,0	14	Célula 1	Parede	27,6
2			13,5	15			24,0
3			18,3	16	Casa de bombas	Parede	19,7
4	Célula 3	Parede	22,0	17			22,5
5			43,0	18			26,0
6		Laje de cobertura	26,0	19			25,0
7			25,5	20		Laje de cobertura	26,1
8			18,4	21			24,5
9	Célula 2	Parede	25,0	22	Célula enterrada	Laje de cobertura	21,0
10			24,0	23			23,5
11		Laje de cobertura	12,5				
12			16,0				
13			11,0				

4.2.5. Ensaio de Ultrassom

Observa-se na Tabela 4, que a maioria dos pontos ensaiados por ultrassonografia apresentou boa homogeneidade e compacidade do concreto, exceto os itens 1 (parede platibanda) e 5 (laje de cobertura da Célula 3) que se mostraram regulares em função dos lascamentos do concreto por corrosão das armaduras e os itens 9 e 10 (laje de cobertura da Célula 2) que se mostraram ruins em relação à homogeneidade e compacidade, também em função de destacamentos do concreto por corrosão das armaduras, mas com maior gravidade.

Tabela 4 – Resultados do Ensaio de Ultrassom.

Item	Local	Elemento Estrutural	Velocidade Média do Pulso Ultrassônico (m/s)	Homogeneidade / Compacidade do Concreto
1	Platibanda	Parede	3493,0	Regular
2			3924,0	Boa
3	Célula 3	Parede	4208,0	Boa
4			4425,0	Boa
5		Laje de cobertura	3375,0	Regular
6			3913,0	Boa
7	Célula 2	Parede	4114,0	Boa
8			4405,0	Boa
9		Laje de cobertura	2177,0	Ruim
10			2819,0	Ruim
11	Célula 1	Parede	4413,0	Boa
12			4260,0	Boa
13	Casa de bombas	Parede	4456,0	Boa
14			4132,0	Boa
15			4439,0	Boa
16		Laje de cobertura	4315,0	Boa
17			3928,0	Boa
18	Célula enterrada	Laje de cobertura	3843,0	Boa
19			4010,0	Boa

4.2.6. Ensaio de Resistência à Compressão

Os testemunhos foram extraídos da platibanda, da parede da célula 2 (área “gasosa”) e da parede da casa de bombas e ensaiados à compressão, com resultados (Tabela 5) que atenderam a NBR 6118:1992 [18], vigente na época em que o reservatório foi projetado e construído, mas bem inferiores em relação à especificação da norma atual, onde a resistência à compressão mínima, para este tipo de estrutura, deveria ser de 30MPa.

Tabela 5 – Resultado do Ensaio de Resistência à Compressão.

Testemunho	Local da Extração	Elemento Estrutural	Resistência à Compressão (MPa)
1	Casa de bombas	Parede	15,7
2	Célula 2		16,0
3	Platibanda		15,1

4.2.7. Determinação da Profundidade de Carbonatação do Concreto

A Tabela 6 apresenta os resultados obtidos, já considerando a exclusão da argamassa de reboco, com espessura média de 20,0mm e completamente carbonatada. Observa-se que, internamente, apenas a amostra extraída da casa de bombas, ou seja, o único local onde não há água armazenada, apresentou uma espessura de carbonatação elevada.

Abril de 2016
ISSN 2448-1459

Tabela 6 – Profundidade de Carbonatação do Concreto.

Amostra	Local da Extração	Elemento Estrutural	Carbonatação Face Interna (mm)	Carbonatação Face Externa (mm)
1	Casa de bombas	Parede	41,0	35,0
2	Célula 2		7,0	13,0
3	Platibanda		4,0	19,0
4	Célula 1		6,0	Não avaliada
5	Célula enterrada	Laje de cobertura	3,0	Não avaliada

Com relação à durabilidade a importância da carbonatação reside no fato de que ela reduz o pH da pasta de cimento do concreto de valores entre 12,6 e 13,5 para valores entre 9 e 8,3. Com a redução do pH a armadura, envolta pelo concreto, perde sua passivação, ou seja, o elemento que protege a armadura contra a corrosão.

4.2.8. Contaminação do Concreto por Cloretos

O ataque por cloretos não afeta diretamente o concreto, mas sim a armadura, causando sua corrosão e, somente como consequência dessa corrosão é que se danifica o concreto em torno da armadura. Os íons cloreto destroem a camada passivadora do aço e, em presença de água e oxigênio, ocorre a corrosão.

A NBR 6118 [3] não faz referência ao teor limite de cloretos, apenas alerta que não é permitida a utilização de aditivos contendo cloretos ao concreto armado ou protendido, assim, para a avaliação das amostras coletadas adotou-se os requisitos estabelecidos pelo ACI 318-11 [19], que determina o limite máximo de 0,15% de teor de cloreto em relação à massa de cimento para o concreto armado.
A Tabela 7 mostra os resultados obtidos, ondo constata-se a contaminação da amostra extraída da laje de cobertura da Célula 2.

Tabela 7 – Resultado dos Teores de Cloreto no Concreto.

Amostra	Local da Extração	Elemento Estrutural	Teor de Cloreto (% sobre a massa de cimento)
1	Célula enterrada	Laje de cobertura	0,13
2	Célula 2		0,26
3	Platibanda	Parede	isento

4.2.9. Ensaio de Resistência de Aderência à Tração – Pull Off

O ensaio foi realizado sobre as paredes e lajes do reservatório, sobre o concreto e também sobre a argamassa cimentícia de revestimento (reboco). No caso do concreto, este deve apresentar resistência ao arrancamento ≥ 1,5 MPa, segundo a norma europeia EN 1504 [20], para que possa receber aplicação de tratamento (argamassas de recuperação, sistemas de proteção etc) diretamente sobre sua superfície e, no caso da argamassa de revestimento, a resistência ao arrancamento deverá ser ≥ 0,30 MPa segundo a norma brasileira NBR 13749 [17].

Tabela 8 – Resultado do Ensaio de Resistência de Aderência à Tração.

Amostra	Local	Tensão (MPa)	Forma de Ruptura
1	Platibanda – parede interna sobre concreto	0,27	No concreto
2	Célula 2 – parede interna sobre concreto	1,59	No concreto
3	Célula 2 – laje de concreto sobre concreto	0,35	No concreto
4	Célula 1 – parede interna sobre concreto	1,73	No concreto
5	Casa de bombas – parede interna sobre concreto	2,31	No concreto
6	Célula 3 – parede externa sobre reboco	0,22	Na interface chapisco/reboco
7	Célula 2 – parede externa sobre reboco	0,13	Na interface chapisco/reboco
8	Célula 1 – parede externa sobre reboco	0,24	No reboco
9	Casa de bombas – parede externa sobre reboco	0,36	Na interface chapisco/reboco

Abril de 2016
ISSN 2448-1459

Os resultados apresentados na Tabela 8 evidenciam os problemas no concreto da Platibanda e da laje da Célula 2 e a falta de aderência da argamassa cimentícia de reboco com as paredes externas de concreto.

5. CONCLUSÃO

Diante de todo o processo de investigação realizado no reservatório, pôde-se constatar que as manifestações patológicas ocorreram em função de falhas construtivas atreladas ao ambiente agressivo e falhas no sistema de manutenção. Os ensaios possibilitaram avaliar características específicas do concreto e recomendar os procedimentos de terapia mais adequados em termos técnicos e econômicos, tendo como início a completa remoção do revestimento de argamassa externo, que já não apresenta resistência de aderência com o substrato, assim como a remoção total do impermeabilizante interno, até a absoluta exposição do concreto.

Feito isso, a etapa posterior engloba todo um processo de recuperação e proteção do concreto armado que, por falta de normas nacionais, foi projetado e especificado com base na norma europeia EN 1504 [20], enquanto o projeto de impermeabilização, de acordo com as normas da ABNT NBR 9575 [21] e NBR 9574 [22], conforme, resumidamente, descrito a seguir:

a) Delimitação, corte e remoção do concreto deteriorado;
b) Remoção da ferrugem do aço com substituição das armaduras cuja perda de seção, devido à corrosão, for maior que 10%;
c) Hidrojateamento de toda a estrutura com água quente e pressão efetiva mímina de 4.000 psi;
d) Tratamento das armaduras com inibidores de corrosão de base cimentícia;
e) Recomposição do concreto com utilização de argamassa polimérica tixotrópica para reparos estruturais, com agentes passivadores de armaduras e adesivos para ponte de aderência integrados;
f) Aplicação de sistema de injeção de espuma de gel de poliuretano flexível, para selamento de fissuras de comportamento dinâmico;
g) Tratamento químico do concreto com aplicação de sistema de cristalização profunda, nas faces internas e externas do reservatório, para conferir ao concreto a impermeabilidade necessária e capacidade de resistir à ataques químicos;
h) Nas faces internas do reservatório, aplicação de sistema de impermeabilização com membrana de polímeros acrílicos com cimento, que não afeta a potabilidade da água;
i) Nas faces externas do reservatório, execução de revestimento com argamassa de cimento e areia, aplicado sobre chapisco aditivado com adesivo acrílico;
j) Após a cura do revestimento, aplicação de pintura de proteção com membrana acrílica;
k) Pintura com primer e revestimento epóxi sobre as tubulações e elementos metálicos internos ao reservatório e com primer e revestimento poliuretânico sobre as tubulações e elementos metálicos externos ao reservatório.

6. REFERÊNCIAS

[1] AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. ACI 201.2R-08 “Guide for Durable Concrete”. Michigan, 2008.
[2] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMA TÉCNICAS. NBR 15575-1:2013.“Edificações habitacionais - Desempenho parte 1: Requisitos gerais”. Rio de Janeiro, 2013.
[3] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMA TÉCNICAS. NBR 6118:2014. “Projeto de estruturas de concreto – Procedimento”. Rio de Janeiro, 2014.
[4] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMA TÉCNICAS. NBR 14931:2004.“Execução de estruturas de concreto - Procedimento”. Rio de Janeiro, 2004.
[5] Tutikian, B.; Pacheco, M. “Inspeção, Diagnóstico e Prognóstico na Construção Civil”, Boletim Técnico n° 1 – ALCONPAT (Asociación Latinoamericana de Control de Calidad, Patología y Recuperación de la Construcción), México, 2013.
[6] COMITE EUROPEU DU BETON - CEB. “Durable concrete structures, design guide, eurointernational committee for concrete”. Thomas Thelford Services Ltd. Londres, 1992.
[7] Husni, R. “Reparación y Refuerzo”, Boletim Técnico n° 2 – ALCONPAT (Asociación Latinoamericana de Control de Calidad, Patología y Recuperación de la Construcción), México, 2013.
[8] AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. ACI 228.2R-13 “Reporto n Nondestructive Test Methods for Concrete in Structures”. Michigan, 2013.
[9] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMA TÉCNICAS. NBR 7584:2012. “Concreto endurecido – Avaliação da dureza superficial pelo esclerômetro de reflexão – Método de ensaio”. Rio de Janeiro, 2012.

[10] AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM C597-09. "Standard Test Method for Pulse Velocity Through Concrete". Pensilvânia, 2009.
[11] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMA TÉCNICAS. NBR 8802:2013. "Concreto endurecido – Determinação da velocidade de propagação de onda ultrassônica". Rio de Janeiro, 2013.
[12] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMA TÉCNICAS. NBR 7680:2007. "Concreto – Extração, preparo, e ensaio de testemunhos de concreto". Rio de Janeiro, 2007.
[13] INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS - IPT. "Reconstituição de Traço de Concretos e Argamassas". Publicação 103 - Boletim n° 25. São Paulo, 1940.
[14] BRITISH STANDARD. BS EN 1542:1999. "Products and systems for the protection and repair of concrete structures. Test methods. Measurement of bond strength by pull-off". Bruxelas, 1999.
[15] AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM C1404. "Standard Test Method for Bond Strength of Adhesive Systems Used with Concrete as Measured by Direct Tension". Pensilvânia, 2010.
[16] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMA TÉCNICAS. NBR 13528:2010. "Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas – Determinação da resistência de aderência à tração". Rio de Janeiro, 2010.
[17] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMA TÉCNICAS. NBR 13749:2013. "Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas – Especificação". Rio de Janeiro, 2013.
[18] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMA TÉCNICAS. NBR 6118:1982. "Cálculo e execução de obras de concreto armado". Rio de Janeiro, 1982.
[19] AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. ACI 318-11 "Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary". Michigan, 2011.
[20] EUROPEAN STANDARD. EN 1504:2008. "Products and systems for the protection and repair of concrete structures – Definitions, requirements, quality control and evaluation of conformity". Bruxelas, 2008.
[21] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMA TÉCNICAS. NBR 9575:2010. "Impermeabilização – Seleção e projeto". Rio de Janeiro, 2010.
[22] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMA TÉCNICAS. NBR 9574:2008. "Execução de impermeabilização". Rio de Janeiro, 2008.