

Estudo de Caso - Recuperação Estrutural em Concreto Armado

Case Study - Structural recovery in reinforced concrete

Damián Alberto Dominguez (1); Luis Cesar S. De Luca (2)

(1) Pós-graduando em Patologia nas Obras Civis, Instituto IDD

(2) Engenheiro Professor, M.Sc.

Resumo

Tem este artigo como objetivo, apresentar como foram avaliadas as manifestações patológicas presentes nas estruturas de concreto armado de um Conjunto Habitacional localizado em São José dos Campos, composto por duas torres (A e B), o qual teve sua construção interrompida por aproximadamente 20 anos. Analisou-se as manifestações patológicas presentes na estrutura de concreto, mediante a realização de inspeções e ensaios físicos e químicos do concreto. O tema se justifica pelo fato de que o concreto sem proteção se degrada naturalmente ao longo do tempo ou devido a ações externas e falhas de execução, ocasionando o surgimento das manifestações patológicas.

Palavras-chave: Concreto armado, Manifestações patológicas. Recuperação estrutural.

Abstract

It has been intended to structurally evaluate a housing complex located in São José dos Campos, consists of two towers (A and B), which had its construction stopped for about 20 years. It intends to analyze the pathological manifestations present in the concrete structure, by conducting tests, recovery methods and chemicals. The theme is justified by the fact that in many situations, the concrete will degrade naturally over time or due to external actions and implementation failures, resulting in the emergence of pathological manifestations.

Keywords: reinforced concrete, pathological manifestations. Structural recovery.

1. Introdução

A obra, objeto de estudo neste trabalho, foi construída totalmente em concreto armado e abandonada desde a falência da Construtora Argon, em 1995, ficando paralisada por mais de vinte anos.

Trata-se de um complexo de edifícios com 4 torres, duas delas, motivo nossa de pesquisa, que foram leiloadas pela Prefeitura do município de São José dos Campos/SP em Dezembro de 2012 e arrematadas por uma empresa particular de construção civil e incorporações.

Em 2009, a prefeitura do município de São José dos Campos/SP comprou as quatro torres abandonadas, para a construção da Via Norte. No entanto em 2012, decidiu leiloar duas das quatro torres, com a exigência de que fossem construídos apartamentos populares.

Cada torre conta 16 andares e 128 apartamentos. As 256 unidades foram vendidas através do programa “Minha Casa, Minha Vida” - Instituído pelo Governo Federal em 2009, para famílias com renda de três a seis salários mínimos.

O tipo de construção residencial em concreto armado, seu estado e as metodologias empregadas para a sua recuperação foram os desafios que nos levaram a realizar uma pesquisa, valendo-se de um estudo de caso, que culminou na produção deste artigo.

1.1 Justificativa

Nos anos de 1995 e 1996, observou-se no Brasil a falência de algumas grandes construtoras, como a Argon e a Encol. Ambas deixaram em todo os país, um rastro de construções inacabadas que, para serem recuperadas, algumas delas, tiveram que valer-se de metodologias específicas de recuperação, como no caso, a utilizada em nossa pesquisa.

A recuperação estrutural das torres abandonadas supra citadas, possui um forte significado econômico, social, acadêmico e técnico - jurídico.

Econômico porque a recuperação estrutural na engenharia civil é uma atividade que envolve grande quantidade de recursos físicos e financeiros.

Social, uma vez que a inclusão social tão necessária em nosso país e que este empreendimento representou uma das formas de acesso a casa própria por famílias de baixa-renda, tornou-se o motivo essencial, que despertou o nosso interesse e a nossa motivação na recuperação desta obra.

Academicamente, embora demandando recursos de grandeza significativa, a questão da recuperação estrutural de edifícios residenciais totalmente construídos em concreto armado não possui no meio acadêmico um histórico adequado compatível à sua importância.

Tecnicamente, além do desafio tecnológico necessário para a sua recuperação estrutural, não há registro de recuperação de obras feitas inteiramente em concreto armado em edifícios residenciais na cidade de São José dos Campos, com o uso da técnica empregada. Lamentavelmente, há de se reconhecer que um dos maiores problemas relativos à recuperação estrutural em concreto armado em edifícios é a falta de conhecimento técnico sobre como fazê-la corretamente, como diagnosticar uma patologia e como proceder para solucionar a questão.

Por fim, o presente trabalho possui também uma forte motivação jurídica, haja vista que, na medida em que a recuperação estrutural for executada seguindo as normas vigentes e utilizando as melhores técnicas disponíveis e os melhores produtos, o construtor terá

como orientar corretamente o proprietário ou usuário sobre como recuperar, conservar e manter esta edificação corretamente; assim as partes envolvidas, conseqüentemente, estarão mais conscientes das suas funções e responsabilidades, minimizando problemas e atritos jurídicos futuros.

Isto posto, cria-se uma situação mais favorável para se diagnosticar com maior clareza, se um determinado problema possui suas causas em patologias decorrentes do mau uso ou falta de manutenção ou se, de fato, trata-se de um problema decorrente de falhas no método construtivo, de recuperação ou de projeto. A este respeito *Helene (1992)* apresenta que:

“Frente a essas manifestações patológicas observa-se, em geral, um descaso inconsequente que leva a simples reparos superficiais ou, inversamente, a demolições ou reforços injustificados. Os dois extremos são desaconselháveis uma vez que há, hoje em dia, uma elevada gama de técnicas e produtos desenvolvidos especificamente para solucionar esses problemas”.(*Helene, 1992*).

De acordo com *Andrade (1992)*, o concreto armado apresenta características mecânicas, que evidenciam uma durabilidade adequada para grande parte das finalidades em que é utilizado. Isso ocorre quando o concreto armado é corretamente preparado e sua aplicação devidamente executada. Para esse autor, a durabilidade das estruturas é o resultado da dupla natureza que o concreto exerce sobre a proteção do aço do ponto de vista eletroquímico contra a corrosão. Desta forma, a camada de concreto de cobertura se torna uma barreira física, e com a elevada alcalinidade que o concreto desenvolve sobre o aço, observa-se uma camada passiva que o mantém inalterado por tempo indefinido.

Colaborando com as ideias apresentadas por *Andrade (1992)* sobre a durabilidade do concreto, *Helene (2007)*, defende que a durabilidade do concreto de origem do cimento Portland, esta relacionada diretamente com a sua capacidade de resistir à ação das intempéries, ataques químicos, abrasão ou qualquer outro processo de deterioração a que esta exposto. Para este autor, “(...) o concreto deve ser durável e manter a sua estabilidade dimensional, qualidade e capacidade de utilização quando exposto ao meio ambiente para o qual foi projetado”. (*Helene, 2007*)

Com relação a vida útil da estrutura de concreto, este mesmo autor destaca a importância do cuidado com o local onde a estrutura irá ser inserida. Vale ressaltar que o espaço no tempo, no qual a estrutura se manterá deve atender as exigências de projeto, pois somente assim, a estrutura de concreto poderá ser garantida com durabilidade, razão pela qual os devidos cuidados com a manutenção devem ser respeitados.

A respeito da interação das estruturas de concreto com o meio em que esta inserida, *Selinger (1992) apud Oliveira (2005)*, registram que:

“A interação das estruturas de concreto com o meio ambiente se dá em função de suas características físicas: absorção, porosidade, permeabilidade; e químicas, que dependem principalmente da composição do cimento e adições. Estas

características permitirão uma maior ou menor capacidade de interação com os agentes agressivos presentes no meio ambiente”. (Selinger, 1992 apud Oliverira, 2005).

Como pode ser observado os autores destacados neste estudo, reforçam a ideia de que a interação do concreto com o meio em que esta inserido, pode ser prolongada por um tempo indefinido, além de manter suas propriedades e qualidades, desde que haja uma preocupação com o cuidado das estruturas de concreto, seja como ação preventiva, ou como reparadora.

Desta forma, apoiados na literatura existente, a recuperação estrutural aqui destacada como objeto de estudo, se justifica por apresentar um forte impacto econômico, social e técnico - jurídico, como destacado anteriormente, pois o impacto que a obra provoca em seu entorno, é um importante marco na recuperação deste conjunto habitacional.

Cabe por fim, destacar que o fato de não haver muitos registros históricos de recuperação de obras feitas inteiramente em concreto armado em edifícios residenciais, torna também, este estudo relevante do ponto de vista acadêmico.

1.2 Problema e Hipótese

Como visto, a literatura existente traz informações sobre o concreto que se degrada naturalmente ao longo do tempo, ocasionado no surgimento de manifestações patológicas que podem ser recuperadas, pois tendo em vista o conhecimento atual dos processos e mecanismos destrutivos que atuam sobre as estruturas e considerando a grande evolução tecnológica dos últimos anos e com o desenvolvimento de equipamentos e técnicas de observação de estruturas, é perfeitamente possível diagnosticar com êxito a maioria das manifestações patológicas.

Diante do exposto levanta-se o seguinte problema de pesquisa: É possível a recuperação estrutural do concreto armado em uma obra abandonada e exposta ao intemperismo por 20 anos?

Qual metodologia seria mais efetiva para a recuperação estrutural do concreto armado de uma obra abandonada por tanto tempo?

A partir dos estudos realizados e da literatura existente, toma-se como hipótese a crença de que é possível a recuperação estrutural do concreto armado em uma obra abandonada e exposta ao intemperismo por 20 anos, mediante a análise das manifestações patológicas presentes na estrutura de concreto armado.

1.3 Objetivo

Este trabalho tem por objetivo geral, verificar a possibilidade de recuperação da estrutura de concreto armado em um Conjunto Habitacional localizado no município de São José dos Campos/SP, composto por duas torres, seguindo as normas vigentes .

1.3.1 Objetivo específico

Determinar os procedimentos de recuperação mediante a análise das manifestações patológicas presentes na estrutura de concreto armado.

2. Fundamentação teórica

Tendo como foco principal a análise das metodologias de recuperação a serem executadas e tendo em vista os ensaios abaixo descritos, destacamos a seguir os ensaios que foram executados nesta obra para se obter os dados e informações necessárias foram, valendo-se da aferição da Alcalinidade do concreto (carbonatação); a Esclerometria; a Medição de fissuras; a técnica da Pacometria e Extração de corpos de prova, além da Medição de bitola de aço com paquímetro.

2.1 Alcalinidade do Concreto (Carbonatação)

Este ensaio identifica a profundidade da carbonatação do concreto, através da abertura de janelas de inspeção feitas na estrutura de concreto. A carbonatação do concreto reduz a alcalinidade do mesmo e expõe as armaduras à ocorrência de corrosão.

O ensaio se dá por meio da aplicação de reagente químico sobre o concreto e foi realizado nos pontos onde forem detectadas as principais manifestações patológicas. Nas estruturas de concreto, a alta alcalinidade, obtida principalmente à custa da presença de hidróxido de cálcio liberado nas reações de hidratação, pode ser reduzida com o tempo. Essa redução ocorre, essencialmente, pela ação do dióxido de carbono presente na atmosfera e outros gases ácidos, tais como dióxido de enxofre e ácido sulfúrico.

Tal processo, denominado carbonatação do concreto, ocorre lentamente resultando em carbonato de cálcio. O pH de precipitação do CaCO_3 é de cerca de 9,4, o que altera, substancialmente as condições de estabilidade química da capa ou película passivadora do aço, como afirma *Helene, 2005*. “O fenômeno de carbonatação está ligado a queda do pH, logo, o indicador à base de fenolftaleína dá bom resultado em sua determinação.” (*Helene, 2005*)”

O concreto normalmente possui pH entre 12,6 e 13,5. Ao se carbonatar, estes números reduzem para valores próximos de 8,5. A carbonatação inicia-se na superfície da estrutura e forma a frente de carbonatação, composta por duas zonas com pH distintas (uma básica e outra neutra). Esta frente avança em direção ao interior do concreto e quando alcança a armadura ocorre a despassivação do aço e este se torna vulnerável à oxidação. *Figuras 1 e 2*.

Figuras 1 e 2: Ensaio de carbonatação com fenolftaleína (Autores do trabalho, 2015)

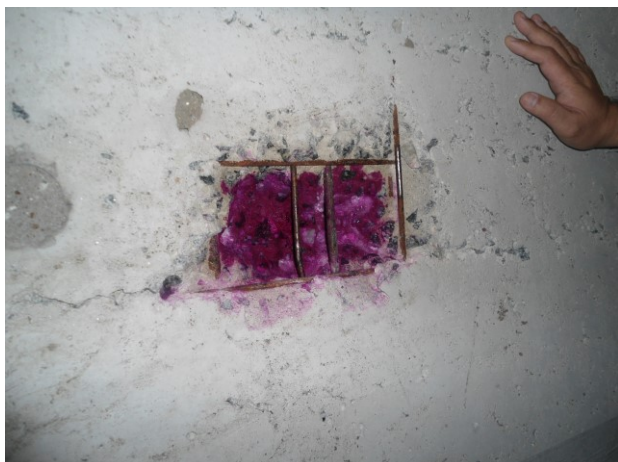


Figura 1



Figura 2

2.2 Esclerometria

O ensaio de Esclerometria é um ensaio não destrutivo para avaliação da dureza superficial e homogeneidade do concreto e é regido pela norma da ABNT 7584:2012. Figura 3.



Figura 3 - Ensaio de esclerometria (Autores do trabalho, 2015).

2.3 Medição de fissuras

A medição é feita com auxílio do fissurômetro, que é uma régua graduada, que indica a abertura das fissuras com variação de 0,05mm até 3,00mm, cuja avaliação tem como referência os parâmetros da norma ABNT NBR 6118:2014. *Figura 4.*



Figura 4 – medição de fissuras (Autores do trabalho 2015).

2.4 Pacometria

Ensaio não destrutivo para avaliação do cobrimento de concreto sobre as armaduras, que também tem a função de localizar as armaduras, no interior da estrutura de concreto, para que as mesmas não sejam danificadas durante a extração de corpos de prova e/ou aberturas de "janelas" para inspeção e aplicação de outros ensaios. O ensaio é baseado na norma americana ACI 228 2R-13, do "American Concrete Institute". *Figura 5.*



Figura 5 – Ensaio de Pacometria (Autores do trabalho, 2015).

2.5 Extração dos Corpos de Prova

A coleta dos corpos de prova é feita pela extração dos testemunhos na direção ortogonal à do lançamento do concreto no caso dos pilares e na mesma direção do lançamento no caso das lajes. A superfície da estrutura, na região foi preparada com a retirada do revestimento; pois, os corpos de prova foram serrados e capeados. A retirada foi executada com broca rotativa refrigerada a água e sem uso de percussão. Os diâmetros dos testemunhos foram de 75 mm e 100 mm. A extração dos corpos de prova segue os preceitos da norma ABNT NBR 7680:2015. *Figura 6.*



Figura 6 – Extração corpos de prova (Autores do trabalho, 2015)

2.6 Medição bitola do aço com paquímetro

A medição da bitola é feita com auxílio do paquímetro que é um instrumento usado para medir com precisão as dimensões de pequenos objetos. Trata-se de uma régua graduada, com encosto fixo, sobre a qual desliza um cursor. A verificação da bitola de aço baseia-se na norma ABNT NBR 7480:2007.

3. Apresentação dos resultados dos ensaios

Neste trabalho foram aplicados os ensaios descritos anteriormente na fundamentação teórica, tendo os seus resultados apresentados a seguir.

3.1 Alcalinidade do Concreto (Carbonatação)

As peças estruturais de concreto de pilares e lajes foram analisadas através de ensaios não destrutivos de esclerometria e através de ensaios físico-químicos – utilização de indicador fenolftaleína e indicador de pH. A realização destes ensaios permitiu em conjunto com os dados coletados através da inspeção técnica visual, analisar as anomalias verificadas assim como a proporção dos danos já provocados à estrutura. A aplicação do indicador fenolftaleína foi feita logo após a quebra da camada de concreto com martelo chegando a 2 cm atrás da armação, os resultados obtidos são observados nas tabelas 1 e 2 abaixo.

Tabela 1 - Ensaio pH e pH superficial - Resultados Obtidos - Ensaio de Carbonatação

PILAR	TORRE	PAV.	PROFUNDIDADE MÁXIMA CARBONATADA (mm)
P1	A	1º	20
P5	A	3º	40
P1	A	4º	20
P3	A	4º	25
P5	A	4º	25
P2	A	5º	27
P4	A	5º	25
P6	A	5º	20
P1	A	1º	20
P4	A	2º	25

OBS: A aplicação do indicador fenolftaleína foi feita logo após a quebra da camada de concreto com martelo chegando a 2 cm atrás da armação.

Tabela 2 - Ensaio de pH e pH Superficial - Resultados Obtidos - Ensaio de Carbonatação

PILAR	TORRE	PAV.	PROFUNDIDADE MÁXIMA CARBONATADA (mm)
P1	B	1º	20
P2	B	4º	27
P4	B	4º	20
P3	B	2º	22
P5	B	2º	20
P3	B	3º	23
P6	B	1º	10
P4	B	5º	28
P2	B	5º	28
P5	B	5º	25
P5	B	6º	28

OBS: A aplicação do indicador fenolftaleína foi feita logo após a quebra da camada de concreto com martelo chegando a 2 cm atrás da armação.

3.2 Esclerometria

O esclerômetro de Schmith usado para ensaiar as peças estruturais do Conjunto Habitacional foi calibrado com energia de choque de 0,225 kgm e aplicado para peças correntes (Canovas, 1988), os resultados obtidos são observados na tabela 3 abaixo.

Tabela 3 – Extração testemunhos de concreto ABNT NBR 7680:2015 e Ensaio de Esclerometria ABNT 7584:2012 – Resistência Superficial Do Concreto

PONTO NUMERO	E6	E11	E18	E34	E41	E45
LOCAL / ELEMEN. ESTRUT	P1/14 TB	P2/22 TB	P4/47 TB	P5/72 TB	P4/93 TB	P5/107 TB
ANDAR/PAV.	1	2	4	7	9	10
FCK (MPa)	21	21	18	15	15	15
DIMENSÕES (cm)	14	14	14	14	14	14
ÂNGULO	0	0	0	0	0	0
1	40	40	48	40	41	39
2	40	39	47	43	40	40
3	41	40	47	41	40	39
4	41	40	47	44	38	39
5	39	41	47	40	39	36
6	40	38	48	41	39	36
7	40	40	47	40	40	36
8	39	40	47	40	39	36
9	39	40	45	39	41	38
10	40	40	47	40	41	37
11	41	41	48	39	40	37
12	41	41	48	39	40	36
13	41	42	47	41	40	35
14	40	39	47	40	41	35
15	42	41	48	39	41	35
16	40	41	45	40	41	36
SOMA I	644	643	753	646	641	590
MÉDIA I	40,3	40,2	47,1	40,4	40,1	36,9
SOMA II	644	643	753	646	641	590
MÉDIA II	40,3	40,2	47,1	40,4	40,1	36,9
CORREÇÃO APARELHO	41,3	41,2	48,3	41,4	41,1	37,8
RESISTÊNCIA SUPERFICIAL (MPa)	36,9	36,8	48,9	37,1	36,6	31,5

O esclerômetro de Schmith usado para ensaiar as peças estruturais do Conjunto Habitacional foi calibrado com energia de choque de 0,225 kgm e aplicado para peças correntes (Canovas, 1988).

3.3 Medição de fissuras

A medição das fissuras foi feita em quantidade por amostragem, interna e externamente; observou-se durante as inspeções das lajes a ocorrência de fissuras em lajes decorrentes da presença de conduites (fissuramento do concreto decorrente das tensões geradas pela corrosão na superfície externa dos conduites). A quantificação desta anomalia apresenta as seguintes metragens: Torre A: 1.286 metros e Torre B: 2.015 metros.

3.4 Pacometria

As análises feitas têm por base as informações do Projeto estrutural no tocante aos materiais, carregamentos e procedimentos de análise.

Os pilares-parede com espessura de 12 cm a 14 cm foram moldados com concreto de resistência variada com a altura, decrescendo de 21 MPa (Térreo ao 2º pavimento), para 15 MPa (7º pavimento à cobertura), passando pela resistência de 18MPa (3º ao 6º pavimento).

A armadura básica dos pilares-parede é de telas soldadas, sendo reforçados o meio e cantos com potiletos (armadura interna com aços longitudinais e estribos ao longo de todo o pilar).

As lajes são do tipo moldadas “in loco” com concreto de resistência maior ou igual a 18MPa foram moldadas com a espessura variando com o ambiente (6 cm rebaixo do Box, 7 cm rebaixo do banheiro e cozinha, 12 cm região de acesso à escada e poço de elevadores e 8 cm as lajes restantes).

As lajes também foram armadas basicamente com telas soldadas ocorrendo em alguns contornos reforço de armadura em vigas chatas armadas com aço CA 50. O cobrimento de 1,5cm foi estimado conforme a norma vigente no período da elaboração do projeto.

Pela pacometria executada foi verificada a conformidade executiva com o projeto estrutural.

3.5 Medição bitola do aço com paquímetro

Nas áreas com armaduras expostas, após o processo de lixamento das mesmas utilizou-se de medições da bitola do aço com paquímetro de forma a verificar se houve redução significativa da bitola do aço, os resultados obtidos são observados na tabela 4 abaixo.

Tabela 4 - Verificação de Bitola do Aço ABNT NBR 7480:2007

Pto	IDENTIFICAÇÃO DAS AMOSTRAS	DIAM. NOMINAL (mm)	DIAM. MEDIDO (mm)
A6	P1/14 TORRE B	5	5
A23	P5/36 TORRE A	5	4,4
A35	P5/56 TORRE B	5	4,3
A36	P4/63 TORRE B	5	4,3
A44	P6/107 TORRE B	5	4,2

A verificação da bitola de aço seguiu a norma ABNT NBR 7480:2007.

4. As metodologias empregadas neste estudo de caso

De acordo com as atuais metodologias de recuperação de estruturas de concreto armado e suas normas vigentes, este artigo descreve os métodos utilizados para a recuperação estrutural de duas torres de um Conjunto Habitacional situado no município de São José dos Campos, São Paulo. *Figura 7.*



Figura 7 – Identificação das Torres A e B (Autores do trabalho, 2015)

As atividades de investigação desenvolvidas basearam-se em fazer:

- 1) Prévia inspeção técnica visual;
- 2) Mapeamento e identificação das manifestações patológicas;
- 3) Realização de ensaios;
- 4) Determinação dos procedimentos de reparo e proteção do concreto a serem aplicados conforme cada tipo de manifestação patológica presente.

A avaliação das estruturas das torres A e B que constituem o Conjunto Habitacional em estudo foram feitas em 256 apartamentos considerando lajes, pilares e vigas. As anomalias observadas foram: falta de recobrimento da armadura, ferragem exposta, manchas avermelhadas em revestimento e recobrimento, fissuras em lajes, concretos segregados e infiltração em lajes. As verificações do projeto estrutural indicaram que a estrutura calculada encontra-se dentro das normas previstas.

As observações feitas durante as inspeções visuais ratificam a qualidade da estrutura construída; não foram observadas anomalias características de problemas estruturais como fissuras e trincas de recalques, fissuras decorrentes de deformações excessivas na flexão, fissuras decorrentes de cisalhamento e compressão excessiva.

As estruturas em concreto armado das torres A e B foram inspecionadas visualmente com a finalidade de se observar anomalias estruturais.

Elaborou-se logística para execução da inspeção; pois foram vistoriados os 256 apartamentos considerando lajes, pilares e vigas. As anomalias observadas foram: falta de recobrimento da armadura, ferragem exposta, manchas avermelhadas em revestimento, recobrimento do concreto, fissuras em lajes e concretos segregados.

Figuras 8 e 9 – Anomalias estruturais observadas (Autores do trabalho, 2015)



Figura 8



Figura 9

4.1 Método executivo de Reparo

4.1.1 Recuperação do concreto danificado

A recuperação do concreto danificado foi feita com a utilização de equipamentos tais como talhadeira, marreta, rompedores leves, discos de corte, lixadeira, escova de aço, sopradores de ar e hidrojateadora.

4.1.2 Hidrojateamento com Lavadora de Alta Pressão (110 bar e 250 bar)

A limpeza das superfícies foi iniciada pelas partes mais altas, procurando manter uma pressão adequada para remoção de partículas soltas. Foram realizados movimentos circulares com o bico de jato para facilitar a limpeza de toda a superfície com a utilização de mangueira de alta pressão, lavadora de alta pressão e bico direcional.

4.1.3 Apicoamento das Superfícies

Aplicou-se de fora para dentro, evitando golpes que pudessem lascas as arestas e contornos da região em tratamento. Retirou-se todo o material solto, mal compactado e segregado, até atingir o concreto são, obtendo uma superfície rugosa e coesa, propiciando boas condições de aderência. As ferramentas utilizadas foram talhadeira, ponteira, marreta e martelo.

4.1.4 Lixamento com Escova Rotativa

O procedimento foi executado com escova rotativa. O equipamento foi colocado em contato com a armadura e foi retirada toda a camada de corrosão. Após a limpeza a superfície apresentou coloração cinza claro e uniforme.

4.1.5 Aplicação de Inibidores de Corrosão

O material inibidor de corrosão foi aplicado com trinchas de cerdas macias e foi aplicado na armação limpa, isenta de ferrugem, óleo, graxa, nata de cimento e outras substâncias incrustadas.

4.1.6 Aplicação de Argamassa de Alta Resistência

As superfícies foram perfeitamente limpas, isentas de nata de cimento e partes soltas, os substratos muito secos foram previamente e levemente umedecidos; aplicou-se a argamassa de alta resistência com colher de pedreiro e a mesma foi sarrafeada e dado acabamento com desempenadeira metálica e esponja seca.

4.1.7 Aplicação de Resina Epóxi e Tratamento de Fissuras

Nas fissuras “passivas” foram fixados bicos plásticos ou niples para injeção com a resina epóxi em intervalos pré-determinados dependendo da situação sendo de 20 a 25 cm. Com a superfície completamente limpa e seca foi aplicada a resina epóxi nos orifícios com uma seringa de injeção de vidro.

As fissuras “ativas” foram limpas, removendo-se todo o material solto com ar comprimido; aplicou-se sobre as mesmas uma demão de membrana acrílica + filme plástico sobre a fissura e após a secagem mais uma demão de membrana acrílica traspassando no mínimo 10 cm de cada lado.

Sobre o filme plástico + membrana acrílica, foi aplicado tela de poliéster utilizando adesivo acrílico incorporado com cimento na relação 1:1 traspassando no mínimo 10 cm de cada lado. Sobre a tela poliéster aplicou-se a membrana acrílica incorporado com cimento na relação 1:1 como camada final utilizando trincha.

Considerações finais

A avaliação das estruturas das torres A e B, que constituem o Conjunto Habitacional estudado neste trabalho, foram baseadas em verificações do projeto estrutural; vistoria de campo; ensaios diversos do concreto da construção.

As verificações do projeto estrutural indicaram que a estrutura calculada encontra-se dentro das normas previstas. As observações feitas durante as inspeções visuais ratificam a qualidade da estrutura calculada; pois, não foram observadas anomalias características de problemas estruturais - fissuras e trincas de recalques, fissuras decorrentes de deformações excessivas na flexão, fissuras decorrentes de cisalhamento e compressão excessiva.

Os ensaios do concreto da estrutura apresentaram resultados que, apesar de ter idade de aproximadamente vinte anos, de não ter sido protegido e de não ter tido qualquer tipo de manutenção, indicaram que o concreto possui resistências compatíveis com as especificadas em projeto e apresentaram integridade juntamente com qualidade química que garante a passivação das armaduras (corrosão das mesmas só quando expostas e em trechos com armadura dupla).

Os resultados de esclerometria indicaram que a resistência superficial do concreto aumentou em 100% em relação a sua resistência inicial de projeto, devida a carbonatação ocorrida em sua superfície.

Os ensaios físicos - químicos (utilização de indicador fenolftaleína) resultou em uma espessura máxima de 40 mm e mínima de 10 mm de carbonatação.

Através da verificação da bitola do aço com paquímetro pode-se concluir que a perda de seção da armadura não foi significativa.

As anomalias observadas durante as inspeções das peças estruturais (pilares e lajes) são basicamente do tipo ferragens expostas e ferragens com óxidos (só manchas visuais sem danos no concreto). A quantificação destas anomalias mostra que a recuperação ocorreu em pequena percentagem das faces expostas da estrutura. Os pilares e lajes da torre A foram recuperados em 4,1% para os pilares e 6,6% as lajes. As percentagens recuperadas das superfícies de face das peças pilares e lajes da torre B foram de 4,3% e 24,3% respectivamente.

Recomendou-se para as lajes de cobertura dos prédios devido a inexistência do processo de impermeabilização e da constante infiltração durante todos esses anos, o reposicionamento de armadura positiva, e recobrimento com concreto projetado.

Na junção entre a laje de cobertura e pilares aparecem fissuras características da movimentação térmica do último pavimento. O tratamento destas anomalias deverá ser feito com a escarificação da região, posicionamento de armadura e recobrimento com concreto projetado.

As fissuras existentes nas lajes com direção igual às dos conduites foram tratadas com a aplicação de tela de poliéster e membrana acrílica.

As regiões onde as armações estão expostas foram escoradas e o tratamento foi feito por partes de maneira a garantir a segurança estrutural da peça e foi feito da seguinte maneira: escarificação da região; reposicionamento de armadura; recuperação do recobrimento com argamassa estrutural.

As regiões onde as armações estão com óxidos – manchas avermelhadas no revestimento – foram recuperadas por remoção do revestimento na região; tratamento da armadura, recomposição da área com argamassa estrutural e recuperação do revestimento.

Por fim, pode-se considerar que os objetivos deste estudo de caso foram alcançados e as hipóteses levantadas confirmadas, resgatando assim, a importância do estudo realizado sobre Recuperação Estrutural em Concreto Armado e a necessidade de que outras pesquisas sejam realizadas futuramente.

Referências Bibliográficas

ANDRADE, C. **Manual para Diagnóstico de Obras Deterioradas por Corrosão de Armaduras**. São Paulo: Editora Pini Ltda, 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Projeto de estruturas de concreto – Procedimento – NBR 6118**, Rio de Janeiro, ABNT, 2014, 238p.

CÂNOVAS, M.F. **Patologia e Terapia do Concreto Armado**. 1. ed. Ed. PINI. São Paulo, 1988, 522p.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. São Paulo: Atlas, 2004.

HELENE, P.R.L. **Manual de Reparo, Reforço e Proteção de Estruturas de Concreto**. Ed. Pini. São Paulo, 1992, 213p.

HELENE, P.R.L.; ANDRADE, T. **Concreto de Cimento Portland. Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais**. São Paulo: Ibracon, 2007.

Norma Brasileira ABNT NBR 7480:2007 - Aço destinado a armaduras para estruturas de concreto armado. ABNT 2007, 13p.

Norma Brasileira ABNT NBR 7680:2015 - Concreto – Extração, preparo, ensaio e análise de testemunhos de estruturas de concreto. ABNT 2015, 7p.

Norma Brasileira ABNT NBR 7584:2012 - Concreto endurecido — Avaliação da dureza superficial pelo esclerômetro de reflexão — Método de ensaio. ABNT 2012, 10p.

Norma Americana ACI 228. 2R-13 - Report on Nondestructive Test Methods for Concrete in Structures. American Concrete Institute, 2013, 82p.

OLIVEIRA, Manuela Queiroz. **Estudo da Eficiência dos Silanos Aplicados em Estruturas de Concreto Armado com corrosão de Íons Cloreto**. Pernambuco/ PE: Escola Politécnica de Pernambuco, 2005.

THOMAZ, E. **Trincas em Edifícios - Causas, Prevenção e Recuperação**. Ed. IPT/EPUSP/PINI. São Paulo, 2002, 94p.