



Avaliação e Recuperação de Estrutura de Concreto Armado: Um Estudo de Caso

OLIVEIRA, Fábio (1); OLIVEIRA, Flávio (2); ARAÚJO, Wendell (3);

(1) *Rehabilitar Engenharia Ltda. 01, email; fabio@rehabilitarengenharia.com;* (2) *FR Projetos e Consultoria Ltda., email; flavioroberto@frprojetos.com.br,* (3) *Centro universitário de João Pessoa- Unipê, email; wendell__@hontail.com*

RESUMO

A durabilidade das estruturas de concreto armado vem recebendo grande ênfase nas pesquisas acadêmicas relacionadas à segurança e estabilidade das edificações. Dessa forma, o conhecimento acerca do estado das estruturas, principalmente aquelas acometidas por sintomas de problemas, é uma ferramenta poderosa para se minimizar os custos e potencializar a eficiência dos serviços de recuperação e reforço estrutural. A corrosão das armaduras das estruturas de concreto armado, é a manifestação patológica mais incidente nas edificações ao redor do mundo, e está intimamente ligada ao conceito de integridade e segurança estrutural. O presente trabalho, descreve, explica e comenta os serviços realizados, por uma empresa especializada em patologia das estruturas, na determinação das causas, origens e mecanismos envolvidos na corrosão das armaduras da estrutura de concreto armado, dos pavimentos térreo e mezanino, de uma edificação situada na cidade costeira de Cabedelo/PB. Foram realizados ensaios e testes mecânicos, físicos, químicos e eletroquímicos na estrutura e, a conclusão foi que a carbonatação do concreto foi o mecanismo causador da manifestação patológica, sendo a origem do problema atrelada à execução da obra. O processo de terapia adotado foi dividido em níveis, relacionados ao grau e avanço da degradação observada, tendo sido adotados algumas técnicas de recuperação estrutural, tais quais: recuperação tradicional, realcalinização química, inibição da corrosão e proteção superficial da estrutura.

Palavras-chave: Durabilidade. Carbonatação. Corrosão das Armaduras. Recuperação Estrutural. Avaliação Estrutural

ABSTRACT

The durability of reinforced concrete structures has received great emphasis on academic research related to the security and stability of buildings. Thus, knowledge of the condition of structures, particularly those affected by symptoms of problems, is a powerful tool to minimize costs and improve the efficiency of repair and structural reinforcement services. The reinforcement corrosion of reinforced concrete structures is the most frequent pathological manifestation in buildings around the world, and is closely linked to the concept of integrity and structural safety. This paper describes, explains and comments on the services performed by a company specialized in pathology of structures in determining the causes, origins and mechanisms involved in reinforcement corrosion of reinforced concrete structure, ground and mezzanine floors of a building located in the coastal city of Cabedelo/PB. Testing and mechanical testing, physical, chemical and electrochemical in the structure were conducted and the conclusion was that the carbonation of concrete was the causative mechanism of pathological manifestation, being the source of the problem linked to the execution of the work. The adopted therapy process was divided into levels, related to the degree and advance to the observed degradation, it has been adopted some techniques of structural recovery, such that: Traditional recovery, chemical realcalisation, corrosion inhibition and surface protection structure.

Keywords: *Durability. Carbonation. Reinforcement Corrosion. Structural Repair. Structural Evaluation*

1 INTRODUÇÃO

A durabilidade das estruturas de concreto armado vem recebendo grande ênfase nas pesquisas acadêmicas relacionadas à segurança e estabilidade das edificações. O conhecimento acerca do estado das estruturas, principalmente aquelas acometidas por sintomas de manifestações patológicas, é uma ferramenta poderosa para se minimizar os custos e potencializar a eficiência dos serviços de recuperação e reforço estrutural.

A corrosão das armaduras das estruturas de concreto armado é a manifestação patológica mais incidente nas edificações ao redor do mundo, conforme Fedrizzi et al (2005), e está intimamente ligada ao conceito de integridade e segurança estrutural. The Transportation Research Board Report publicado em 1991, estimou que as despesas com a degradação das estruturas de concreto armado das pontes localizadas nas rodovias interestaduais americanas ultrapassaram os 150 bilhões de dólares, só devido a ação de sais de degelo. Sendo o gasto anual com recuperação atingindo o patamar dos 300 bilhões de dólares.

Oliveira et al (2007) afirmam que as perdas com reabilitações de obras deterioradas, apenas através do fenômeno da corrosão de armaduras, giram em torno de 1,25 % a 3,5 % do PIB de países em desenvolvimento.

Diante desses números, a correta determinação das causas, origens e mecanismos envolvidos no processo corrosivo possuem importância imensurável na determinação de uma adequada terapia para o tratamento das manifestações patológicas.

1.1 Corrosão das Armaduras

Nunes (2007) comenta que, a corrosão das armaduras em estruturas de concreto armado é um processo eletroquímico de deterioração que retorna à liga metálica ao estado inicial a qual foi extraída nas jazidas, na forma de óxidos e hidróxidos, principalmente de ferro.

A armadura de aço carbono quando inserida em concreto, adquire uma condição de passividade, Pourbaix (1974). Zhang et al (2006), explica que, essa passividade é obtida através de uma fina camada semicondutiva de óxidos, que envolve a armadura, protegendo-a física e quimicamente. Essa proteção é popularmente conhecida como película passivante.

1.2 Agentes Causadores

Alguns agentes agressivos presentes no ambiente, penetram através da porosidade aberta do concreto de cobrimento e quebram essa barreira passivante, ora por mudança do Ph do concreto ora pela reação química com os compostos dessa camada passivante, Broomfield (1997). O CO₂ e os íons cloretos são os principais exemplos desses agentes.

A carbonatação, que consiste nas reações químicas entre o dióxido de carbono (CO₂) e o hidróxido de cálcio [Ca(OH)₂], tem como produto o carbonato de cálcio (CaCO₃), que reduz o Ph do concreto a níveis que, conforme Pourbaix (1974), não garante o estado de passivação da armadura, decretando o fim da vida útil da estrutura, como define Tutti (1982), iniciando o processo corrosivo.

Os íons cloretos provenientes de sais presentes na água do mar, migram impulsionados pela ação dos ventos, como explica O`dowd et al (1996), depositando-se na superfície dos elementos estruturais e por absorção, penetrando no concreto. Xu et al (2008), explica que, tão logo a concentração desses íons atinja determinado limite no entorno da armadura, o que depende de vários fatores, a película passivante é quebrada e se inicia o processo corrosivo.

Outra fonte de cloretos, muito comum durante a década de 90 no Brasil, eram os aditivos aceleradores de pega a base de cloreto de cálcio, que inadvertidamente eram adicionados à massa do concreto.

1.3 Recuperação Estrutural

Tutti (1982), determina que o início do processo corrosivo coincide com o início da vida residual da estrutura, ou seja, momento a partir do qual a estrutura perde capacidade portante até o seu colapso, ou até que serviços de recuperação elevem o desempenho da estrutura e novamente restitua sua capacidade de resistir aos esforços para a qual foi inicialmente dimensionada.

Vários são os tipos e processos de recuperação das estruturas de concreto armado. Grahntham (2011) indica que, os processos de recuperação estrutural podem ser denominados de tradicionais e os não tradicionais. Aqueles envolvem as técnicas de demolição do concreto afetado, remoção mecânica dos produtos de corrosão das armaduras e recomposição do concreto demolido. Já os processos não tradicionais, são compostos por técnicas químicas e eletroquímicas que visam atenuar ou até interromper o processo corrosivo, assim como restaurar as condições de Ph do concreto, reestabelecendo a condição de passividade da armadura.

A realcalinização química é uma técnica que visa restituir o Ph do concreto utilizando compostos químicos que agem revertendo o processo de carbonatação, através da absorção de produtos impregnados na superfície dos elementos estruturais que migram pela porosidade do concreto, Araújo (2009).

Os inibidores de corrosão são uma alternativa efetiva e de baixo custo no retardo da inicialização da corrosão ou até na redução da velocidade de corrosão das armaduras em estruturas de concreto armado, Fedrizzi et al (2005), Ormellese et al (2006) e Saraswathy et al (2007). Essas substâncias químicas são impregnadas na superfície do concreto e migram em direção às armaduras, agindo através dos seguintes mecanismos: formação de barreira física, repassivação da superfície oxidada, alteração das características do meio em contato com o metal, L-amoudi et al (2003).

Os inibidores de corrosão ainda podem ser divididos em três tipos: anódicos, catódicos e mistos, dependendo de onde eles interferem, no ânodo, no cátodo ou em ambos, Saraswathy et al (2007) e L-amoudi et al (2003).

Nesse contexto, uma avaliação estrutural torna-se tanto uma necessidade técnica como uma necessidade econômica. A eficácia e eficiência no tratamento e na manutenção das estruturas tendem a minimizar os enormes gastos originários desse mal. o presente trabalho discerne acerca das atividades realizadas por uma empresa de patologia estrutural durante os serviços de

avaliação e recuperação da estrutura de concreto armado de uma edificação acometida pela corrosão das armaduras.

2. Apresentação

2.1 Localização

A edificação está localizada no bairro de Intermares, na cidade de costeira de Cabedelo/PB, com longitude: 34°50'29.12"O e latitude: 07° 02'25.070"S e uma distância de aproximadamente 450 m do mar.

Figura 1 – Imagem da localização da edificação – Fonte Google Earth



2.2 Estrutura

A estrutura edificação do Residencial Porto Príncipe foi executada em concreto armado moldado *in loco*. Composta por pilares, vigas e lajes maciças, sendo as fundações em sapatas isoladas superficiais e diretamente apoiadas no solo. A área de projeção estrutural executada perfaz um total aproximado de 5.000 m².

Durante o período de anamnese, em entrevista com os moradores mais antigos, descobriu-se que em meados dos anos 1990, já com a estrutura da edificação finalizada, a empresa construtora faliu e a obra foi paralizada, expondo, sem proteção, a estrutura de concreto armado por alguns anos, até que os proprietários das unidades autônomas assumiram a construção e finalizaram a obra no final de 1997.

2.3 Microambiente

O ambiente a qual está inserido a estrutura do residencial Porto Príncipe possui características bastante comuns a um microambiente urbano e costeiro. Foram realizados medições de temperatura e umidade relativa do ar através de leituras contínuas e diárias durante os meses de fevereiro e março de 2014 através de dois Data Loggers localizados em pontos internos da estrutura.

A temperatura ambiente média durante o período de medição foi de 28,77^o C e a umidade relativa do ambiente, que foi de 75,2 %.

Figura 2 – Resumo dos dados microambientais – Datalogger HAXO-8 LOGTAG – Fonte Próprio Autor

ID do LogTag	7310002462	
ID do usuário		
LogTag bateria	OK	
Fora do intervalo de alerta	0,0 a 100,0 %RH	-20,0 a 70,0 °C
Fuso horário	GMT -03:00, horário padrão	
Número de Leituras	7983	
Intervalo de leitura	5 Minutos	
Número de inicializações	5	
Primeira Leitura	21/02/2014 05:24:28	
Última Leitura	13/03/2014 05:19:28	
Tempo transcorrido	19 Dias, 23 Horas, 55 Minutos	
Intervalo de leitura	34,1 a 83,9 %RH	22,7 a 31,0 °C
Leitura média	75,2 %RH	28,7 °C
Desvio padrão (S)	6,7 %RH	1,2 °C
Graus Minutos abaixo do limite inferior de alerta	0,00 %RH-Minutos	0,00 °C-Minutos
Graus Minutos acima do limite superior de alerta	0,00 %RH-Minutos	0,00 °C-Minutos
Temperatura Cinética Média	28,77 °C	
Hora abaixo do limite inferior de alerta	Nenhuma	Nenhuma
Hora acima do limite superior de alerta	Nenhuma	Nenhuma
Hora fora do intervalo de alerta	19 Dias, 23 Horas, 55 Minutos	19 Dias, 23 Horas, 55 Minutos

3. Metodologia

Alguns ensaios e testes foram realizados na estrutura de concreto armado do Residencial Porto Príncipe com a finalidade de se caracterizar os materiais e o processo construtivo, assim como também, de se caracterizar o mecanismo do processo corrosivo instaurado.

Os ensaios e testes de profundidade de frente de carbonatação, presença de cloretos, espessura do concreto de cobrimento, esclerometria à percussão, potencial eletroquímico foram realizados no sentido de que fossem obtidos dados quanto à: resistência do concreto ante a penetração de agentes agressivos; tipo de agente agressivo; extensão de áreas anódicas; velocidade de penetração dos agentes agressivos.

Os ensaios foram realizados de maneira amostral, e essas amostras representativas e aleatórias foram definidas conforme as características microambientais, as quais estavam inseridas as diversas partes da estrutura. Por exemplo, pilares que estivessem expostos à chuva e à determinada direção dos ventos, fariam parte de um mesmo grupo, que seriam representados por uma amostra de tamanho proporcional ao número de elementos do grupo.

Com o resultado dos ensaios, cada grupo era caracterizado quanto ao tipo de agente agressivo, velocidade de penetração do agente agressivo, grau do processo corrosivo e extensão de áreas anódicas. Tendo sido então definido e determinado o tipo de terapia que seria adotado para cada grupo.

4. Ensaios Realizados

Durante as atividades desenvolvidas no serviço de avaliação da estrutura do residencial Porto Príncipe, foram realizados alguns ensaios de caracterização dos materiais e de caracterização do processo corrosivo.

4.1 Carbonatação

O ensaio de medida de espessura de carbonatação foi realizado através da aspersão de solução de Álcool Etílico (C_2H_5OH ou C_2H_6O) a 1 % de Fenolftaleína pura ($C_{20}H_{14}O_4$) conforme a ÖNORM EN 14630 - Products and systems for the protection and repair of concrete structures — Test methods — Determination of carbonation depth in hardened concrete by the phenolphthalein method. Essa solução ao entrar em contato com algum meio ou substância que possua pH superior a aproximadamente 9.5, adquire coloração vermelho-carmim enquanto que, em pH's inferiores, se mantém incolor.

Durante a realização dos ensaios de carbonatação, também foram aferidas as espessuras do concreto de cobrimento das peças estruturais.

Figura 3 –Ensaio de espessura de carbonatação/cobrimento de concreto – Fonte Próprio Autor



Figura 4 –Ensaio de espessura de carbonatação/cobrimento de concreto – Fonte Próprio Autor



Quadro 1 –Amostra do planilhamento do resultado do ensaio de espessura de carbonatação e cobrimento da armadura em vigas – Fonte Próprio Autor

ELEMENTO ESTRUTURAL	PAVIMENTO	PROFUNDIDADE DE CARBONATAÇÃO (mm)					ESPESSURA DE COBRIMENTO (mm)					ACABAMENTO
		Face Inferior	FACE SUL	FACE NORTE	FACE LESTE	FACE OESTE	Face Inferior	FACE SUL	FACE NORTE	FACE LESTE	FACE OESTE	
V2-F1	Térreo	47,4				5,2	39,5				1,6	PVA

V3-F1	Térreo	45,5			27,9		32,2			42,0		PVA
V3-F2	Térreo	41,6			49,9		22,6			28,6		PVA
V3-F3	Térreo	34,2				13,2	25,6				29,3	PVA
V3-F4	Térreo	17,3				6,6	44,7				33,6	PVA
V4-F1	Térreo	33,0			45,3		39,5			36,5		PVA
V15-F1	Térreo	19,6	35,9				13,7	27,3				PVA
V15-F2	Térreo	25,9	18,9				27,0	16,5				PVA
V16-F1	Térreo	56,9		35,9			58,7		37,5			PVA
V16-F2	Térreo	48,8		45,3			33,9		30,9			PVA
V16-F3	Térreo	46,6	37,5				40,7	33,1				PVA
V18-F1	Térreo	37,7		29,9			39,8		35,7			PVA
V18-F2	Térreo	29,1		18,2			14,2		12,2			PVA
V19-F1	Térreo	33,5	27,4				30,2	22,0				PVA
V25-F1	Térreo	45,4		31,4			56,3		34,1			PVA
V25-F2	Térreo	48,6		25,9			63,0		44,8			PVA

4.2 Esclerometria

Os procedimentos adotados para realização deste ensaio obedecem ao que está prescrito na NBR 7584:2012– Concreto endurecido — Avaliação da dureza superficial pelo esclerômetro de reflexão — Método de ensaio, sendo adotado um esclerômetro tipo N modelo WM 250 de fabricação da James Instruments.

As superfícies escolhidas para realização dos ensaios de esclerometria foram todas verticais, estando conseqüentemente o esclerômetro na posição horizontal. Procurou-se por superfícies que apresentassem uma boa condição superficial para a realização do ensaio, como planicidade, homogeneidade no seu adensamento, regiões que não apresentassem segregação, exsudação, concentração excessiva de armaduras, juntas de concretagem, cantos e arestas, foi realizada limpeza abrasiva no local do ensaio através de pedra pome.

Para garantir a ausência de armaduras no concreto foi utilizado um localizador de barras analógico modelo HR-7500 de fabricação da James Instruments, sendo executada essa verificação em todos os pontos onde seriam realizados os ensaios de esclerometria.

Figura 5 –Detalhe do ensaio de esclerometria (esquerda pilar, direita viga) – Fonte Próprio Autor



Figura 6 –Detalhes do esclerômetro – Fonte Próprio Autor



Quadro 2 – Amostra do planilhamento do resultado do ensaio de esclerometria à percussão - Lajes e Vigas – Fonte Próprio Autor

Local	Resultados dos Índices Esclerométricos															Media	Amplitude		Media Corrigida	Resistência aproximada (Mpa)	
	Minima	Maxima																			
L2/Térreo	34	34	32	34	23	28	24	35	30	23	38	31	25	30	29	26	29,75	26,78	32,73	30,00	25
L7/Térreo	24	19	27	24	26	19	29	22	28	20	18	24	20	24	34	24	23,88	21,49	26,26	24,00	16
L8/Térreo	24	31	22	26	26	24	27	35	22	28	25	25	23	26	28	22	25,88	23,29	28,46	25,90	19
L18A/Térreo	32	30	32	31	22	24	39	36	34	24	39	34	36	40	36	28	32,31	29,08	35,54	32,17	28
V6C/Térreo	21	20	22	24	22	22	21	16	23	38	16	22	30	18	18	24	22,31	20,08	24,54	22,33	14
V7/Térreo	25	17	17	18	16	16	12	15	18	26	17	17	16	21	15	21	17,94	16,14	19,73	17,33	10
V11/Térreo	18	22	21	24	20	24	20	23	25	24	24	26	24	24	20	20	22,44	20,19	24,68	23,33	15
V14B/Térreo	26	29	27	19	23	33	28	20	23	21	22	26	29	28	24	23	25,06	22,56	27,57	24,57	17
V14C/Térreo	18	18	26	26	24	18	23	26	24	19	20	22	18	24	27	24	22,31	20,08	24,54	23,50	16
V15/Térreo	26	22	28	19	26	30	21	22	20	25	23	30	20	26	24	21	23,94	21,54	26,33	24,25	17
V16A/Térreo	18	20	19	20	20	19	39	19	17	20	20	20	19	18	18	22	20,50	18,45	22,55	19,82	11
V16B/Térreo	22	14	14	14	20	23	20	16	20	14	16	15	21	29	15	21	18,38	16,54	20,21	20,00	12
V17/Térreo	16	14	19	19	24	23	16	20	21	15	19	16	20	20	22	22	19,13	17,21	21,04	19,71	11
V18/Térreo	21	18	22	20	20	19	20	12	14	20	23	14	26	26	27	17	19,94	17,94	21,93	19,71	11
V19A/Térreo	18	20	16	26	18	14	30	24	18	18	18	23	21	19	23	21	20,44	18,39	22,48	20,25	12
V19B/Térreo	22	20	18	18	18	22	19	16	20	18	17	22	22	22	19	24	19,81	17,83	21,79	18,75	11
V20/Térreo	28	36	26	20	24	26	23	14	27	27	20	24	29	26	26	32	25,50	22,95	28,05	25,70	19
V22/Térreo	27	17	17	24	18	22	26	28	21	22	23	24	12	22	22	25	21,88	19,69	24,06	22,50	14
V25/Térreo	18	14	20	24	24	23	23	22	26	26	24	26	24	22	18	23	22,31	20,08	24,54	23,22	15
V30/Térreo	17	22	17	18	20	19	22	23	19	21	28	24	24	23	26	27	21,88	19,69	24,06	22,38	14
Total Vigas/Lajes																24	22	27	25	17	

4.3 Potencial de Eletroquímico de Corrosão

Os procedimentos adotados para realização deste ensaio obedecem ao que está prescrito na ASTM C-876 – Standard Test Method for Half-Cell Potentials of

Uncoated Reinforced Steel in Concrete. O ensaio foi realizado através da semi-pilha do eletrodo de referência de Cobre/Sulfato de Cobre.

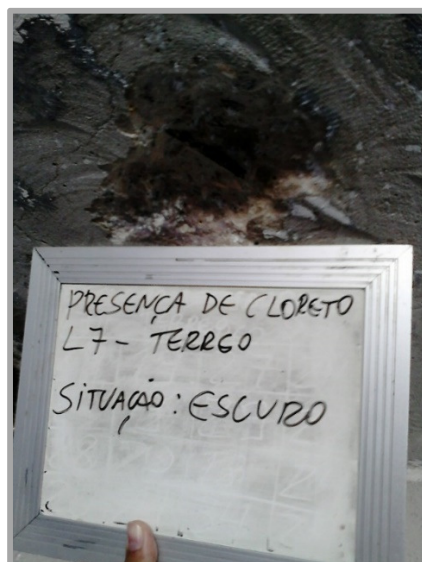
Figura 7 –Detalhe das medições do potencial de corrosão – Fonte Próprio Autor



4.4 Presença de Cloretos

Para determinação da presença de cloretos na estrutura da edificação, as vigas e pilares foram fraturadas com martelo apropriado, e aspergido-se um solução de 0,1 N de Nitrato de prata (AgNO_3), conforme o método colorimétrico indicado por Meck et al (2001) baseado na da ASTM C1202, verificou-se a coloração adquirida, indicando coloração branca para presença de cloretos e coloração marrom para a não presença de cloretos acima de 0,4 % de concentração em relação a massa de cimento.

Figura 8 –Detalhe do resultado do ensaio de presença de cloretos – Fonte Próprio Autor



4.5 Espessura do Concreto de Cobrimento

Foi realizada verificação complementar de espessuras do concreto de cobrimento através do localizador de barras foi analógico modelo HR-7500 de

fabricação da James Instruments, em todos os elementos (peças estruturais) ensaiadas.

Figura 9 – Detalhe do localizador de barras – Fonte Próprio Autor



5. Diagnóstico, Prognóstico e Mecanismos

A avaliação do resultado dos ensaios realizados, indicam que a estrutura de concreto armado dos pavimentos térreo e mezanino do Residencial Porto Príncipe encontra-se acometida pela corrosão das armaduras. Apesar de não ter sido possível avaliar os projetos estruturais da edificação, a grande variedade de espessuras do concreto de cobertura das peças estruturais da edificação, são indícios de que a origem dessa manifestação patológica esteja na execução.

O ensaio qualitativo da presença de cloretos indica, que o teor de cloretos livres na região em torno da armaduras não foi o suficiente para causar a despassivação do aço, sendo essa afirmação ratificada através do ensaio de carbonatação do concreto, que demonstrou que em toda região corroída, a frente de carbonatação possuía profundidade superior que a espessura de cobertura do concreto.

A ASTM C 876, em seu item 10, indica que regiões com potencial mais eletronegativo que -350 mV , são regiões com elevada probabilidade de ocorrência de corrosão das armaduras e regiões com potencial entre -200 mV e -350 mV existe uma incerteza quanto ao estado do processo corrosivo. No entanto, o mapeamento do potencial eletroquímico na estrutura, demonstrou que nas regiões corroídas esse potencial era mais eletronegativo que -230 mV . Esse valor foi então adotado como valor mínimo para catalogação das regiões anódicas das peças que não fizeram parte daquelas escolhidas para realização dos demais ensaios.

Segundo definição de Tutti (1982), ao ser iniciado o processo corrosivo, a vida útil de operação da edificação se extinguiu, restando apenas a vida útil residual, sendo esse período indeterminado, para essa estrutura, por falta de informações mais precisas acerca da velocidade do processo corrosivo e também, acerca do projeto estrutural. Dessa forma, as peças estruturais enquadradas nessa situação, deveriam ser recuperadas imediatamente.

As peças estruturais em que as armaduras ainda não tinham sido despassivadas, ou seja, os agentes agressivos ainda não tinham atingido as armaduras, possuíam vida útil de operação ainda em vigor, e baseando-se na

velocidade média de penetração da frente de carbonatação, e na espessura média do concreto de cobrimento, a vida útil de operação seria inferior a 5 anos. Dessa forma, a recalibração química seria a indicação para esses casos.

As peças estruturais, cuja a espessura carbonatada não ultrapassou 50 % da espessura do concreto de cobrimento, possuem vida útil superior a 8 anos, conforme a taxa de evolução da frente de carbonatação, caso fosse mantido o revestimento de proteção e as condições micro ambientais. Nessas peças foi recomendado a aplicação de uma proteção de poro aberto, com objetivo de se diminuir a umidade interna do concreto, durante um período específico de tempo – meses de verão – e em seguida a aplicação de uma proteção de poro fechado.

6. Terapia

O processo de recuperação da estrutura de concreto armado do Residencial Porto Príncipe foi baseada nos três tipos de situações generalizadas no item acima: *situação 1* onde a corrosão está instaurada; *situação 2* onde a vida útil de operação é reduzida; e a *situação 3*, onde a vida útil de operação é elevada.

A *situação 1* impõe uma recuperação estrutural tradicional que consiste na substituição do todo o concreto carbonatado, principalmente aquele que envolve as armaduras em toda a extensão anódica da pilha, que está indicada no projeto de recuperação. Deve ser promovida a substituição das armaduras, caso a perda de secção seja superior a 10 %.

A substituição do concreto carbonatado por um microconcreto auto adensável com resistência a compressão característica mínima de 40 MPa e resistência característica mínima de aderência ao concreto antigo não inferior a 2,5 MPa, sendo que essa última podendo ser obtida através de ponte de aderência a base cimentícia. Também poderia ser utilizada uma argamassa polimérica de recuperação, caso a espessura não ultrapasse 40 mm.

Para a parte da estrutura que se enquadrava na *situação 2* a terapia proposta foi a aplicação de um processo de recalibração química com silicizantes, com o objetivo de retornar a um patamar aceitável o ph do concreto de cobrimento.

A *situação 3* não exigia uma recuperação estrutural, mas foi recomendado a aplicação de proteção de poro aberto nas regiões internas, seguida de uma proteção de poro fechado e hidrofugação nas regiões externas. Essa proteção consiste na aplicação de uma proteção de poro aberto (argamassa polimérica) durante um período mínimo de 3 meses obrigatoriamente, durante os meses de verão, seguida de uma proteção de poro fechado (acrílica, poliuretânica, epoxídica). Nas regiões externas deveria ocorrer a aplicação de hidrofugante a base de silano/siloxano.

7. Conclusões

O Ambiente a qual está inserido a edificação possui características urbanas, com temperatura média de 28,77° C umidade relativa de 75,2 %.

A qualidade do material - concreto - não cria um ambiente favorável a manutenção da integridade física das armaduras de aço carbono. Os revestimentos de grande espessuras nos pilares e vigas, minimizaram a

penetração dos agentes agressivos, o que em algumas peças estruturais, isso não pôde ser observado.

O micro ambiente criado favorece a uma média taxa de difusão do gás CO₂, mas em contra-partida, cria condições para um elevada taxa de corrosão. A qualidade do material favorece a uma alta taxa de difusão do CO₂ e a uma alta taxa de corrosão das armaduras. Baseados nos ensaios, testes e observações acerca da estrutura, o estado geral da obra é de deterioração média – Classificação REHABILITAR ENGENHARIA. A corrosão das armaduras aparecem em focos contínuos em parte da estrutura, acompanhada pelo o avanço da frente de carbonatação em profundidades mais elevadas que a espessura de cobrimento do concreto. O elevado desvio padrão da espessura de cobrimento do concreto foi a principal variável na despassivação das armaduras, apesar da baixa qualidade do concreto.

Do ponto de vista do ataque da estrutura pelos sais de cloretos, pouca presença desse sal foi percebida através do ensaio colorimétrico. Esse ensaio expedito de presença de cloretos, é muito influenciado pelo tipo de cimento, com maior ou menor teor de aluminados, o que influencia o teor de cloretos livres e combinados (Sal de Friedel); pela resistividade do concreto; pela umidade do concreto; e pelo Ph do concreto, dessa forma, deve-se levar em consideração outras fontes de informação para se analisar os dados provenientes desse resultado, como foi o caso de ensaio de carbonatação.

8. Considerações Finais

O período compreendido entre a conclusão da avaliação estrutural e a realização das atividades de recuperação estrutural foi muito elevado, podendo em alguns locais ter afetado a condição das peças estruturais enquadradas na situação 2. Esse aspecto gerou dúvidas quanto ao avanço da frente de carbonatação e, levou o responsável pelo laudo técnico, a reavaliar a solução adotada para tratamento das regiões enquadradas na *situação 2*. Substituindo a realcalinização química pela aplicação de um inibidor de corrosão misto.

A empresa que realizou avaliação e recuperação estrutural ainda forneceu um plano de manutenção para a estrutura de concreto armado da edificação, onde, dentre outras atividades, foi previsto realização de vistorias periódicas.

Referências Bibliográficas

Fedrizzi, L., Azzolini, F., Bonora, P. Luigi. (2005). **The Use of Migrating Corrosion Inhibitors to Repair Motorways' Concrete**. Cement and Concrete Research 35 551–561.

Oliveira, Fábio G. X. de, Filgueiras, Vinícius, J. B. F., Meira, Gibson R., Carneiro, Arnaldo M. P. (2007). **Custos de Recuperação Estrutural: Um Estudo de Caso**. IX Congresso Latino-Americano de Patologia das Construções - CONPAT2007. Quito, Equador, 2007.

Nunes, Laerce de Paula. (2007). **Fundamentos de Resistência à Corrosão**. ABRACO. Editora Interciência. Rio de Janeiro, 2007.

Pourbaix M., Atlas of Electrochemical Equilibria in Aqueous Solutions, **National Association of Corrosion Engineers (NACE), Houston, TX, and Centre Beige d'Etude de la Corrosion (CEBELCOR)**, Bruxelas, 1974.

Zhang, Yun-liant, LI, Qi-ling. (2006). **Electrochemical Study on Semiconductive Properties of the Passive Film on Rebar in Concrete**. Journal of Zhejiang University SCIENCE A. 2006.

Broomfield, John P. (1997). Corrosion Steel of Concrete. E & FN SPON. 1997.

Tutti, K. (1982). **Corrosion of steel in concrete**, Cement and Concrete Institute, StoKholm, 1982.

O`Dowd, C. D. Smith, M. H., Consterdine, I. E., Lowe, J. A. (1996). **Marine Aerosol, Sea-Salt, and the Marine Sulphur Cycle: A Short Review. Atmospheric Environment**, vol31, n1, pp73-80.

Xu, J., Jiang, L. (2008). **Influence of surface conditions, Inhibitor of the Chloride Threshold Level for Corrosion of Steel in a Simulated Concrete Pore Solution**. 1st International Conference on Microstructure Related Durability of Cimentitious Composites. Nanjing, China. 2008.

Grantham, Michael G. (2011). **Concrete Repair: A Pratical Guide**. Taylor & Francis. Spon Press. New York and London. 2011.

Araújo, Fernanda Wanderley Correêa de. (2009) **Estudo da Repassivação de Armaduras em Concretos Carbonatados Através da Técnica de Realcalinização Química**. Tese de Dotouramento. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, Brasil.

Ormellese, M., Berra, M., Bolzoni, F., Pastore, T. (2006). **Corrosion Inhibitors for Chlorides Induced Corrosion in Reinforced Concrete Structures**. Cement and Concrete Research 36 536 – 547.

Saraswathy, V., Song, Ha-Won. (2007). **Improving the Durability of Concrete by Using Inhibitors**. Building and Environment 42, 464–472.

I-Amoudi, O. S. Baghabra, Maslehuddin, M., Lashari, A.N. (2003). **Effectiveness of corrosion inhibitors in contaminated concrete. Cement & Concrete Composites** 25 439–449

_____ **NBR NBR 7584:2012**– Concreto endurecido — Avaliação da dureza superficial pelo esclerômetro de reflexão — Método de ensaios

_____ **ASTM C-876** – Standard Test Method for Half-Cell Potentials of Uncoated Reinforced Steel in Concrete

_____ **ÖNORM EN 14630** - Products and systems for the protection and repair of concrete structures — Test methods — Determination of carbonation depth in hardened concrete by the phenolphthalein method