

## Diagnóstico de danos em uma edificação do início do século XX em La Habana. Estudo de caso

A. H. Oroza<sup>1\*</sup> , R. G. Hernández<sup>1</sup>

\*Autor de Contacto: [ahernandez@proyectos.ohc.cu](mailto:ahernandez@proyectos.ohc.cu)

DOI: <http://dx.doi.org/10.21041/ra.v9i3.327>

Recepção: 04/07/2018 | Aceitação: 22/05/2019 | Publicação: 30/08/2019

### RESUMO

O objetivo do artigo é realizar um diagnóstico da deterioração de uma edificação de concreto armado em Havana, Cuba, construída no ano 1906. Debido ao uso e falta de manutenção, há destacamento do concreto e fissuras em vários elementos estruturais. Para avaliar a vida útil, foram realizados estudos de resistência à compressão do concreto, ensaios químicos para quantificar as concentrações de cloreto e sulfatos livres, ensaios de potencial de corrosão, perda de seção das barras, extração de testemunhos e análise visual dos problemas presentes. Os resultados obtidos mostram que, apesar do imóvel apresentar uma deterioração avançada, ele pode ser reabilitado e estender sua vida útil.

**Palavras-chave:** diagnóstico, corrosão, resistividade, vida de serviço, durabilidade

**Citar como:** Oroza, A. H., Hernández, R. G. (2019), “*Diagnóstico de danos em uma edificação do início do século XX em La Habana. Estudo de caso*”, Revista ALCONPAT, 9 (3), pp. 336 – 349, DOI: <http://dx.doi.org/10.21041/ra.v9i3.327>

<sup>1</sup> Departamento de Diagnóstico y Levantamiento. UEB Restaura. Empresa de Restauración del Patrimonio. Oficina del Historiador. La Habana. Cuba.

### Informações legais

Revista ALCONPAT é uma publicação trimestral da Associação Latino-Americana de Controle de Qualidade, Patologia e Recuperação de Construção, Internacional, A.C., Km. 6, antiga estrada para Progreso, Mérida, Yucatán, C.P. 97310, Tel.5219997385893, [alconpat.int@gmail.com](mailto:alconpat.int@gmail.com), Website: [www.alconpat.org](http://www.alconpat.org)

Editor responsável: Dr. Pedro Castro Borges. Reserva de direitos de uso exclusivo No.04-2013-011717330300-203, eISSN 2007-6835, ambos concedidos pelo Instituto Nacional de Direitos Autorais. Responsável pela última atualização deste número, Unidade de Informática ALCONPAT, Eng. Elizabeth Sabido Maldonado, Km. 6, antiga estrada para Progreso, Mérida, Yucatán, C.P. 97310.

As opiniões expressas pelos autores não refletem necessariamente a posição do editor.

É totalmente proibida a reprodução total ou parcial dos conteúdos e imagens da publicação sem autorização prévia do ALCONPAT Internacional A.C.

Qualquer discussão, incluindo a resposta dos autores, será publicada no segundo número do ano 2020, desde que a informação seja recebida antes do fechamento do primeiro número do ano de 2020.

## **Diagnostic of damage in a building of the early twentieth century in Havana. Case study**

### **ABSTRACT**

The objective of this work is to diagnostic the existing deterioration in a reinforced concrete building located in Old Havana, Cuba, built in 1906. Due to the years of exploitation and lack of maintenance, the property began to show detachment of concrete and cracks in almost all structural elements. To evaluate the service life, electrical resistivity studies of the concrete were carried out, chemical tests to quantify the levels of free chloride and sulphate, corrosion potential tests, section losses of the reinforcement bars, extractions of concrete specimens and visual analysis of the present damages. The results obtained showed that although the building presents an advanced deterioration, it can be rehabilitated, and it is possible to extend its service lifetime.

**Keywords:** diagnostic, corrosion, resistivity, service life, durability.

## **Diagnóstico de daños en una edificación de principios del siglo XX en La Habana. Caso de estudio**

### **RESUMEN**

El objetivo del trabajo es hacer un diagnóstico del deterioro de una edificación de hormigón armado ubicada en La Habana Vieja, Cuba, construida en el año 1906. Debido a los años de explotación y falta de mantenimiento, el inmueble presenta desprendimientos de hormigón y grietas en casi todos los elementos estructurales. Para evaluar la vida de servicio se realizaron estudios de resistividad aparente del hormigón, ensayos químicos para cuantificar los niveles de cloruro libre y sulfato, ensayos de potenciales, pérdidas de sección de las barras, extracciones de probetas de hormigón y análisis visual de las lesiones presentes. Los resultados obtenidos demostraron que, aunque el inmueble presenta un avanzado deterioro, este puede ser rehabilitado siendo posible extender su tiempo de vida de servicio.

**Palabras clave:** diagnóstico, corrosión, resistividad, vida de servicio, durabilidad.

## **1. INTRODUÇÃO**

Desde a patente do concreto armado no século XIX, este material tem apresentado grande desempenho e durabilidade, mesmo quando exposto a diferentes níveis de agressividade atmosférica corrosiva (Castañeda et al., 2018; Howland, 2012; Vera et al., 2009). Em junho de 1895 foi instalada em Cuba uma central de concreto, tornando Havana a primeira cidade da América Latina a fabricar concreto de cimento Portland de forma industrializada (Toraya, 2001). Apesar desse avanço tecnológico nacional, muitos dos edifícios construídos com concreto armado apresentaram baixo desempenho e necessidade de ações recorrentes de reparo. Isto se deve em grande parte à falta de conhecimento sobre o efeito negativo do uso de areia marinha não lavada na preparação da mistura de concreto, planejamento urbano ineficiente, mudanças no uso, modernizações e estimativas errôneas dos efeitos ambientais. Como consequência, muitos edifícios atingiram o fim da vida útil (Castro-Borges e Helene, 2007; Howland, 2012) antes dos primeiros 50 anos de operação. Os danos causados pela corrosão da armadura devido à entrada de cloretos, sulfatos ou carbonatação do concreto foram profundamente estudados por diversos pesquisadores em diferentes regiões do mundo (Andrade e Dal Molin, 2000; Castañeda et al., 2012; Chavez et al., 2013; Helene e Castro-Borges, 2009), onde a perda significativa da capacidade de suporte do elemento estrutural afetado foi demonstrada.

Uma vez iniciados os deslocamentos do cobrimento de concreto, devido as tensões de corrosão da armadura e à perda de aderência, os riscos para a vida dos usuários da propriedade e os custos de reparo e manutenção são drasticamente aumentados (Castañeda e Rodriguez, 2014). O aprofundamento do conhecimento desses aspectos é a chave para a concepção e execução de estruturas duráveis, bem como a reabilitação racional delas (Costa e Appleton, 2002).

Este artigo tem como objetivo discutir os resultados do diagnóstico feito a um edifício de concreto armado, erguido entre 1900 e 1906, para a firma Casteleiro e Vizoso (Figura 1). Estilo eclético e sete andares de altura, foi projetado para que todos os andares tivessem 4 m de altura, com exceção do térreo com 6,3 m. O edifício foi erguido sobre uma estrutura de aço, coberta de concreto hidráulico com fundações e cobertura de concreto armado. As fundações consistiam em sapatas de apoio calculadas para suportar uma carga média de  $3 \text{ kg/cm}^2$ . O concreto preparado para formar todos os mezaninos e escadas foi dosado em proporção de 1 volume de cimento, 3 de areia e 5 de cascalho. O cálculo da carga acidental dos pisos foi estimado para  $366 \text{ kg/m}^2$  e um fator de segurança de 4 foi aplicado à estrutura metálica.

A propriedade está localizada a dois quilômetros da baía de Havana e a menos de 50 m da Avenida del Puerto, em um ambiente urbano-costeiro. Desde a sua construção e até hoje teve diferentes usos, sendo o primeiro um edifício comercial para as negociações da empresa. Depois de 1960, tornou-se uma estação de correios, depois escola e, finalmente, por duas décadas, imóveis para alugar apartamentos para investidores estrangeiros. Para atender às necessidades dos tempos modernos, o sistema hidráulico foi atualizado com a instalação de uma linha de água quente em cada apartamento, nas áreas de cozinha e banheiro.



Figura 1. Propriedade estudada

## 2. PROCEDIMENTO

### 2.1 Metodologia de pesquisa

Para a seleção dos ensaios de diagnósticos a serem utilizados, aplicou-se uma metodologia de pesquisa em dois estágios (Geocisa, 2002). O primeiro visa realizar um levantamento fotográfico detalhado de cada uma das manifestações patológicas visíveis, e a segunda de tipo experimental, baseada na análise dos resultados organolépticos obtidos e das conclusões alcançadas no primeiro estágio (Oroza e Bouza, 2015).

A avaliação da corrosão foi realizada de acordo com o procedimento padrão descrito por (NACE SP0390, 2009) que estabelece como objetivos fundamentais, a definição da natureza do ambiente no qual a estrutura está localizada, a inspeção das condições físicas, o estabelecimento de extensão, natureza da corrosão e dados históricos da estrutura atual.

## 2.2 Medição do potencial de corrosão ( $E_{corr}$ )

O método de avaliação da corrosão por meio do potencial de meia célula é uma técnica que permite medir a possível atividade corrosiva a partir do valor de  $E_{corr}$  obtido, porém não oferece informações sobre a cinética do processo ou a  $i_{corr}$  resultante (Yu et al., 2017). Quando  $E_{corr} < 350$  mV vs. CSE, indica que há uma probabilidade maior que 90% de que há corrosão da armadura. Pelo contrário, se o  $E_{corr} > -250$  mV vs. CSE, a probabilidade é inferior a 10% (ASTM C876, 2009). O equipamento utilizado para as medições foi o Proceq Canin+. Para a aplicação do mapa potencial nas lajes, foram estabelecidas áreas de trabalho de 2x2 m e a malha fixa (grade) de 50x50 cm.

## 2.3 Medição da resistividade aparente ( $\rho$ ) do concreto

Para estimar o risco de corrosão apresentado pela armadura, foi utilizado o equipamento Proceq Resipod, que funciona com base no método de Wenner (Gowers e Millard, 1999). Esta técnica consiste em avaliar o risco de corrosão apresentado por armaduras, dependendo do andar de saturação dos poros do concreto. Está intimamente relacionado à qualidade do concreto (microestrutura, relação água / cimento, porosidade, cura, resistência à compressão) e, portanto, sua durabilidade (Andrade e D'Andrea, 2011; Azarsa e Gupta, 2017; D'Andréa e Andrade, 2009; Sanchez et al., 2017). O equipamento funciona aplicando uma corrente na superfície do material através das duas sondas externas, medindo o potencial resultante entre os interiores. O teor de umidade (água ou vapor) presente nos poros do concreto é capaz de transportar a corrente entre as sondas, o que possibilita obter a resistividade do material, bem como calcular a taxa de corrosão ( $i_{corr}$ ). A preparação da superfície e as medições foram executadas de acordo com as instruções do fabricante. Para evitar a interferência da leitura devido ao efeito das barras (Presuel Moreno et al., 2009), elas foram localizadas e identificadas pelo pacômetro Proceq Profoscope. Para a avaliação da  $i_{corr}$ , a equação proposta por RILEM (Andrade e Alonso, 2004) foi aplicada onde:

$$I_{corr} = \frac{3 \times 10^4}{\rho} \quad (1)$$

## 2.4 Extração de testemunhos

Para conhecer a resistência à compressão ( $R_c$ ) do concreto das lajes, os testemunhos foram extraídos em todos os andares. O Hilti DD-160E foi utilizado para extração e como prensa uma Controls Automax 5 de 2000 KN. Cinco testemunhos foram extraídos por andar para um total de 35.

## 2.5 Ensaios químicos de cloreto e sulfato

Foram extraídas 8 amostras nas lajes de concreto armado de cada andar, com exceção do térreo, para um total de 48 amostras. O método utilizado para as extrações da amostra foi o indicado pela norma ASTM C-1152 (C1152 / C1152M-04, 2004). O procedimento de análise química utilizado foi o desenvolvido por Oroza et al. (2016).

# 3. RESULTADOS

## 3.1 Diagnóstico de lajes

### 3.1.1 Resultados da inspeção visual

Foram identificadas lajes com perda de revestimento de concreto, aços expostos e fissuras longitudinais na direção das barras de reforço (Figura 2a). Na laje do sétimo andar, além das manifestações patológicas previamente indicadas, manchas de eflorescência e lixiviação foram detectadas devido à infiltração de água da chuva no telhado.

Nos teto de todos os apartamentos observou-se que as lajes haviam sido previamente reparadas. O material utilizado para a restauração foi uma argamassa estrutural à base de cimento. Durante a inspeção foi possível verificar que estas lajes não estavam de acordo com a espessura original novamente. Da mesma forma, nenhum tratamento anticorrosivo foi aplicado às armaduras e, como consequência, a maioria da argamassa de restauração já mostrou fissuras e destacamentos em várias áreas (Figura 2b).

Os espaços mais afetados foram cozinha e banheiro devido ao vapor gerado pelo uso de água quente. As armaduras nas lajes dessas áreas tiveram severos efeitos de corrosão atmosférica. Algumas das barras existentes foram encontradas fraturadas ou com uma perda de seção localizada muito avançada (Figura 2c), comprometendo a estabilidade estrutural do elemento devido à possível falha na flexão. A profundidade de carbonatação medida variou entre 5-6 cm, com um  $K_{CO_2}$  calculado de 5,2 mm/ano. As espessuras de revestimento (ec) foram entre 1-2 cm.

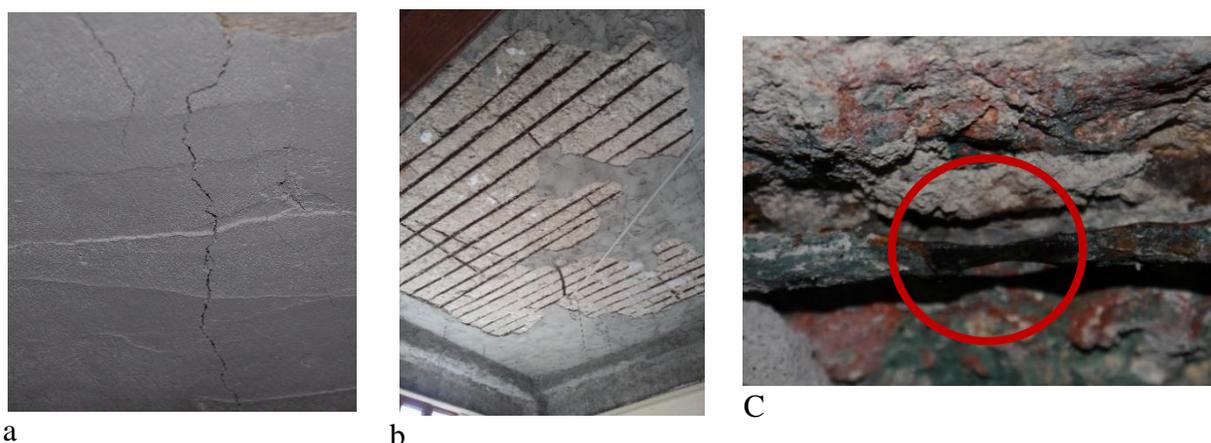


Figura 2. Manifestações patológicas identificadas nas lajes do teto. a) Fissuras longitudinais na direção das barras de aço resultantes da corrosão. b) Perda de revestimento de argamassa de reparo em grandes áreas de lajes de teto do hall. c) Corrosão localizada na armadura

### 3.1.2 Resultados de ensaios de diagnóstico

Com base nos resultados da avaliação da manifestação patológica visual, foram identificadas duas áreas com diferentes manifestações patológicas. Um localizado nos primeiros eixos destinados a hall e quartos, e outro ao fundo com banheiros e cozinhas. O uso de água quente nessas áreas aumenta a umidade do meio e produz condensação do vapor na superfície das lajes de concreto. Como consequência do aumento do teor de água na massa do concreto, os mecanismos de transporte e a mobilidade iônica entre os poros capilares são acelerados, acelerando a corrosão das armaduras de aço das lajes de concreto armado. Para avaliar o risco de corrosão das barras, foram realizadas medições de  $E_{corr}$ , mapas potenciais foram construídos e o  $\rho$  foi medido em cada zona separadamente. As Figuras 3 e 4 mostram os mapas de potenciais obtidos no terceiro andar, bem como as Figuras 5 e 6 mostram os andares de  $\rho$  correspondentes aos espaços preparados para as medidas  $E_{corr}$ .

Os resultados entre as duas técnicas demonstram que existe uma correspondência entre os valores de  $E_{corr}$  e  $\rho$ . Em áreas com uso de água quente, a difusão de oxigênio é aumentada, assim como sua disponibilidade ao andar das armaduras. Em elementos de concreto armado onde não há proteção primária devido ao avanço da carbonatação e à presença de sais de cloreto, a taxa de corrosão estabelecida ( $i_{corr}$ ) torna-se o principal parâmetro que determina o motivo da deterioração da estrutura. Nas áreas mais secas,  $E_{corr}$  mais positivas são registradas com andares de resistividade maiores que 80  $K\Omega$ -cm.

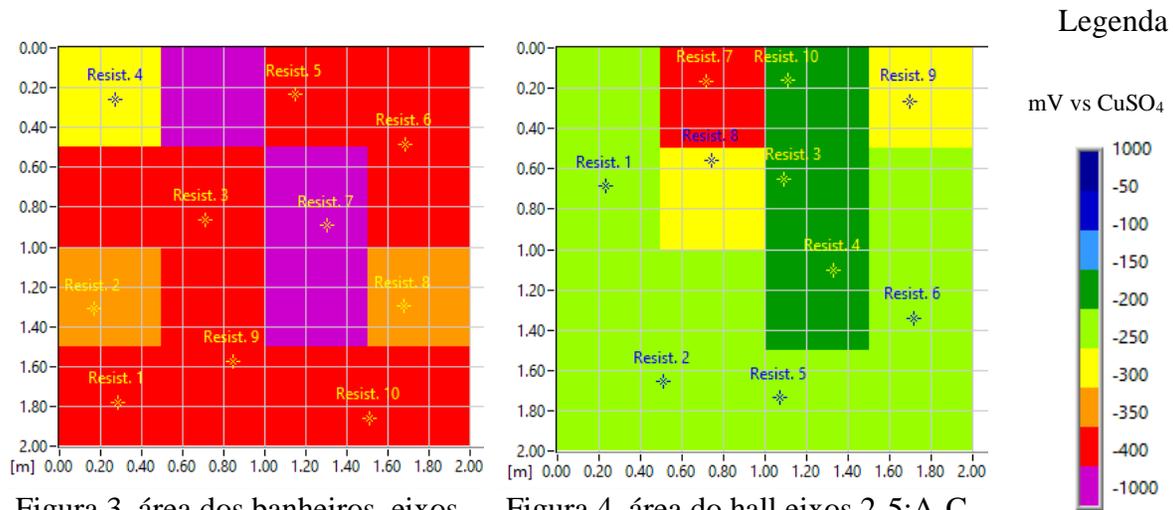


Figura 3. área dos banheiros, eixos 3-4:F-G

Figura 4. área do hall eixos 2-5:A-C

Figura 3 e Figura 4. Mapas  $E_{corr}$  na laje de concreto do terceiro andar

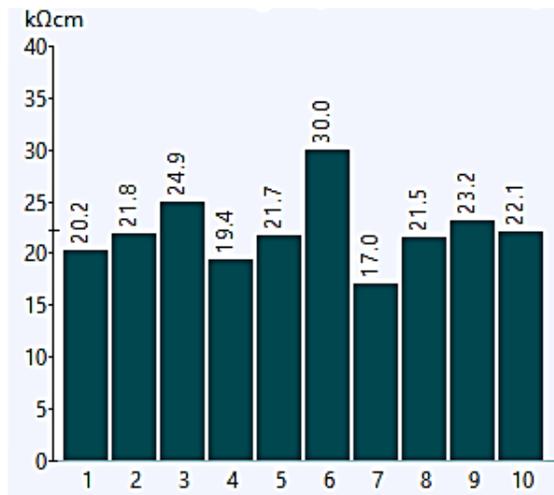


Figura 5. Área dos banheiros, eixos 3-4:F-G

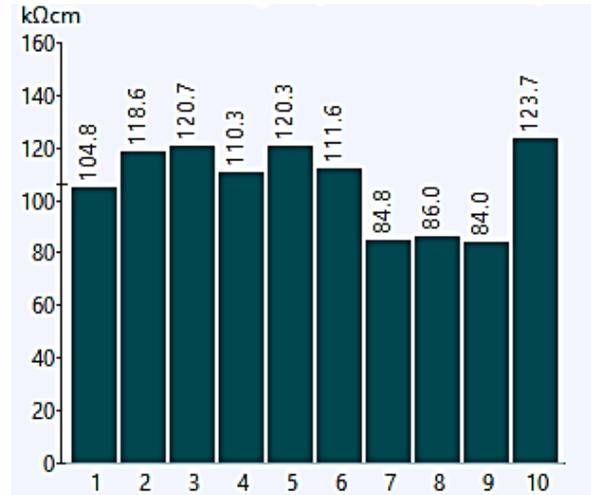


Figura 6. Área do hall, eixos 2-5:A-C

Figura 5 e Figura 6. Resultados dos ensaios de resistividade nas lajes de concreto do terceiro andar

A Tabela 1 mostra os resultados médios obtidos onde os ensaios de resistividade aparente,  $i_{corr}$  e químicos das amostras de concreto estão correlacionados, em cada andar da propriedade.

Tabela 1. Resumo dos resultados médios obtidos por andar

Andar	$\rho$ (KΩ-cm)	$i_{corr}$ ( $\mu A/cm^2$ )	Cl <sup>-</sup> (% peso do concreto)	SO <sub>4</sub> (mg/L)
2º	17,0	1,76	0.11	<100
3º	21,1	1,42	0.12	107
4º	36.7	0,82	0.14	<100
5º	30.1	1,00	0.11	118
6º	43.2	0,69	0.12	<100
7o	12.6	2,38	0.13	<100

Os valores mais baixos de  $\rho$  foram obtidos na laje do 7º andar como resultado da infiltração de água da chuva. Isso faz com que a laje seja exposta a ciclos de secagem e molhagem, com processos de lixiviação que diminuem a alcalinidade do material e aumentam a porosidade. Como resultado, o  $i_{\text{corr}}$  resultante é maior que  $2 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ .

A análise química das amostras de concreto reflete uma alta concentração de  $\text{Cl}^-$ , que está em correspondência com o  $\rho$  e o  $i_{\text{corr}}$  obtidos em cada andar. O uso de areia do mar não lavada foi uma prática comum nos edifícios da primeira metade do século XX, onde o efeito negativo deste ânion no aço da armadura era desconhecido. Em relação às concentrações de  $\text{SO}_4^{2-}$  obtidas, estas não são suficientes para promover uma formação significativa de etringita tardia capaz de causar fissuras no concreto (Howland, 2012).

Para determinar as perdas de seção das armaduras de aço nas lajes, foram realizadas medições em todos os andares. Eles foram descobertos removendo o revestimento de concreto entre 5-8 barras por área de trabalho. Como exemplo, os valores registrados no 5º andar são mostrados na Tabela 2. Todos os aços principais encontrados foram de seção quadrada de 16 mm (quadrados torcidos) com área nominal de  $256 \text{ mm}^2$  e espaçados entre 12-16 cm. Os estribos são de seção quadrada de 10 mm.

Tabela 2. Valores de perda de seção medidos no 5º andar

Local	Nº. de barra	Lado medido (mm)	Área residual ( $\text{mm}^2$ )	Lado nominal (mm)	Área nominal ( $\text{mm}^2$ )	Perda de seção (%)
Hall	1	14,15	200,22	16,00	256,00	21,8
	2	15,04	226,20			11,6
	3	14,38	206,78			19,2
	4	15,28	233,48			8,8
	5	15,17	230,13			10,1
	6	15,1	228,01			10,9
	7	14,9	222,01			13,3
	8	14,67	215,21			15,9
Cozinha	1	1,73	2,99			98,8
	2	7,62	58,06			77,3
	3	2,61	6,81			97,3
	4	7,03	49,42			80,7
Banheiro	1	12,13	147,14			42,5
	2	12,4	153,76			39,9
	3	12,6	158,76			38,0
	4	11,9	141,61	44,7		
	5	11,6	134,56	47,4		

As maiores perdas de quantidade de aço foram registradas nos espaços destinados a cozinha e banheiro. O resultado obtido é a diminuição da seção em algumas barras de até 99% na área da cozinha, próximo à localização do aquecedor de água. No restante das áreas dos apartamentos, embora as medições de  $\rho$  e  $E_{\text{corr}}$  mostrem um material mais “seco”, a quantidade de perdas de aço varia entre 10-20%, sendo necessário um recálculo estrutural, para avaliar a viabilidade em termos de substituição ou emenda de barras de aço novas em sua reparação. O respectivo recálculo não faz parte deste trabalho. No entanto, a estrutura em questão é fornecida, os pilares são constituídos por perfis metálicos do tipo I e, em casos específicos, há pilares com uma armadura adicional de aço comum e outras com a armadura completa de aço comum. Essa estrutura é coberta de concreto, que protege o aço que as forma. As lajes são armadas com barras de aço comuns e suportam as

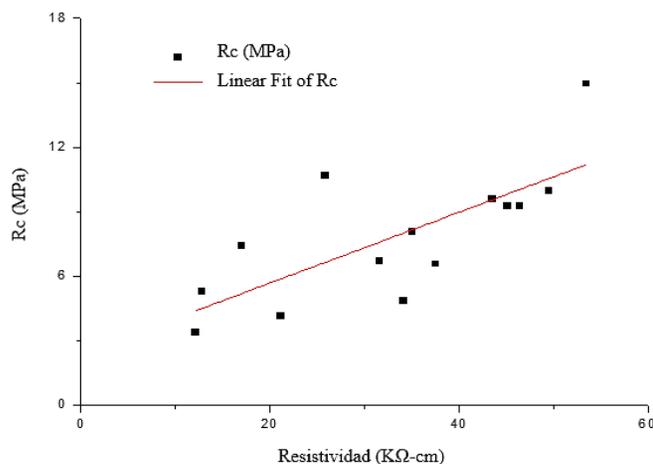
cargas de uso, bem como seu próprio peso e são transmitidas para a estrutura fornecida, inferindo-se assim que o trabalho é feito por ambos os elementos. Com os resultados obtidos, ficou evidenciado que a resistência atual do concreto é muito afetada.

Em estruturas de concreto armado, os problemas (fissuras) causadas pelo fenômeno da corrosão atmosférica da armadura, transformações químicas causadas pela carbonatação, cloretos e anos de exposição influenciam significativamente a resistência do concreto. Além disso, as cargas que atuaram durante a vida da propriedade, que também causam uma diminuição no  $R_c$  devido a um fenômeno similar ao relaxamento, conhecido como efeito de Rüsç (Couto et al., 2015), devem ser consideradas. Os resultados dos testemunhos de concreto extraídos nas lajes são apresentados na tabela 3. As maiores resistências obtidas foram no 5º andar, com valores médios de 8,71 MPa. A norma (ACI: 562M-16, 2016) estabelece como ferramenta de avaliação que os elementos de concreto armado construídos entre 1900-1919 devem ter resistência à compressão entre 7-14 MPa. Esse critério ainda é atendido no prédio para quase todos os andares, exceto pelo terceiro e quarto, o que pode ser devido a algumas das causas discutidas anteriormente.

Tabela 3. Valores médios de  $R_c$  das amostras de concreto extraídas nas lajes

Andares	$R_c$ (MPa)
2º	7.40
3º	4.11
4º	6.91
5º	8.71
6º	8,03
7º	7.13

Outros autores (Ramezaniapour et al., 2011) mostraram que, para o mesmo projeto de mistura de cimento, há uma relação linear entre resistência à compressão e  $\rho$  devido à semelhança química da solução de poros. Para avaliar a correspondência entre a permeabilidade do concreto de lajes de concreto armado e o  $\rho$  medido diretamente nas lajes, ambos os resultados foram correlacionados com base nas resistências das amostras extraídas. A Figura 7 mostra o gráfico obtido em relação à correlação entre o  $R_c$  e o  $\rho$  para as lajes do mezanino da propriedade estudada.



Rc	Interceptado	Valor	Erro
		2,38046	1,56301
	Desvio	0,16484	0,04373
Estatística	R <sup>2</sup>		
	0,50396		

Figura 7. Relação entre  $R_c$  e  $\rho$  para lajes de concreto armado

Como resumo das medições nas lajes, é apresentada na Tabela4.

Tabela 4. Resumo dos resultados das medições feitas por andares

Andares	$\rho$ ( $K\Omega$ -cm)	$i_{corr}$ ( $\mu A/cm^2$ )	Cl <sup>-</sup> (% peso do concreto)	SO <sub>4</sub> (mg/L)	Rc (MPa)	Secção de aço (AP- principal AT- estribos)	Perda de secção (%)	Espaçamento aço principal (cm)
2°	17,0	1,76	0.11	<100	7.40	AP- Ø16 AT- Ø10	42.9	12-16
3°	21,1	1,42	0.12	107	4.11		25.1	
4°	36.7	0,82	0.14	<100	6.91		27.7	
5°	30.1	1,00	0.11	118	8.71		45.1	
6°	43.2	0,69	0.12	<100	8.03		30.2	
7°	12.6	2,38	0.13	<100	7.13		65.1	

### 3.2 Manifestações patológicas nos pilares

A inspeção visual foi realizada nos pilares localizados nos últimos, penúltimos e intermediários corredores. Para a construção dos pilares, os perfis tipo I e as barras de aço Ø16 foram utilizados. Identificou-se que a grande maioria destes havia sido previamente recuperados e ainda apresentavam um estado de deterioração marcado principalmente por fissuras longitudinais (Figuras 8 e 9), como consequência da corrosão das armaduras. Em geral, tanto os perfis de aço quanto as barras que compõem os pilares mostraram um alto andar de corrosão com perda de secção.



Figura 8



Figura 9

Figura 8 e Figura 9. Deterioração nos pilares

No caso particular do segundo andar, um alto nível de corrosão com perda de secção nas diferentes armaduras das pilares foi amplamente observado. Todos os elementos estudados são compostos por perfis tipo I. As aberturas foram feitas nos pilares indicados na Figura 10. A seguir, na tabela 5, são apresentados os números das aberturas e as espessuras medidas das aletas.

Tabela 5. Medidas realizadas nos pilares inspecionados

Abertura	Eixos	Medição (mm)
C1	1':H	22,07
C2	3:D-E	15,25
C3	6:H'	20,40
C4	4:G	22,90
C5	H: 1'-2	5,49
C6	1':J	16,00
C7	4: E-F	20,00
C8	6: D-E	7,38

No caso da abertura C1, o perfil é acompanhado por uma armadura tipo escada com barras de 10 mm de diâmetro que também apresenta corrosão. No quinto andar, ao executar as aberturas (Figura 11), observou-se que a armadura do pilar correspondente ao C6 é uma armadura de aço comum que ainda retém sua cor cinza metálica. Nas aberturas C5, C7 e C8, observou-se corrosão com perda de seção em armaduras constituídos por perfis tipo I.

No sétimo andar, a armadura dos pilares correspondentes ao C9 e C10, é uma armadura de aço comum que mostra um bom estado de conservação. No caso de C9 e C10, eles têm corrosão com muito pouca perda de seção. Nas aberturas C11 e C12, a armadura é constituído por perfis do tipo I, onde existe um alto nível de corrosão com perda de seção. A Tabela 6 mostra os resultados obtidos a partir dos elementos medidos:

Tabela 6. Perda de seção de aços medida em pilares

Abertura	Eixo	Localização	Medição (mm)	Perda de seção (%)
C9	1':H	diâmetro da barra	16,00	0,0
C10	3:F	diâmetro da barra	15,37	7,7
		diâmetro de cerco	9,36	12,4
C11	4:H'	extremo da aba	9,99	Não determinado
C12	4:C	extremo da aba	8,57	Não determinado

Deve-se notar que, no caso da abertura C9, como explicado anteriormente, a armadura tem uma cor cinza metálica, no entanto, no pilar há uma fissura longitudinal que percorre toda a sua altura. Esta manifestação patológica originou-se como resultado de um esforço de flexo-compressão que não foi capaz de suportar o concreto devido à sua baixa resistência mecânica e excentricidade da armadura.

Por outro lado, no caso de pilares com barras de aço comuns, a perda de seção foi calculada a partir do diâmetro nominal das barras que compõem a armadura. Para pilares cuja armadura é um perfil metálico tipo I, não foi possível calcular a porcentagem de perda porque as medidas nominais dos referidos perfis não são conhecidas.

É importante notar que o concreto que compõe os pilares apresentou resistência mecânica muito baixa, pois no processo de execução das aberturas não oferecia resistência ao corte, desintegrando-se com grande facilidade. Na medida em que desce nos andares, do sétimo ao segundo, há evidências de uma diminuição na resistência, sendo esta última a mais vulnerável ao corte.

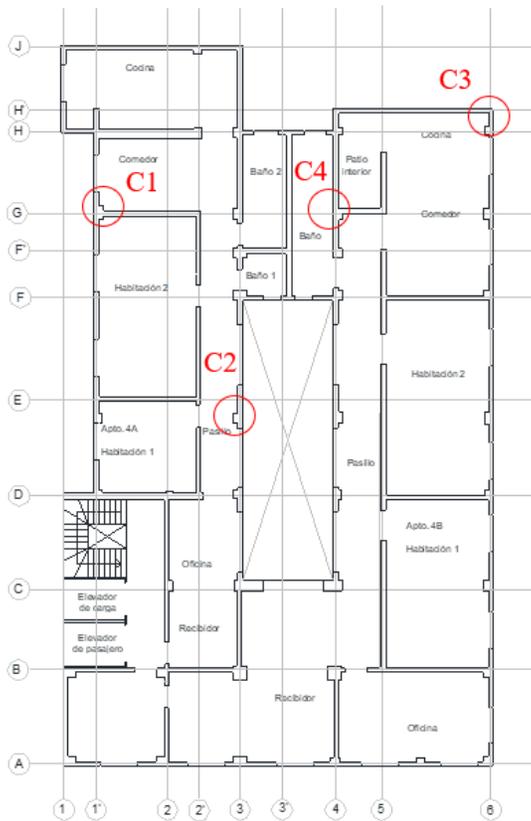


Figura 10. Localização das aberturas no 2º andar

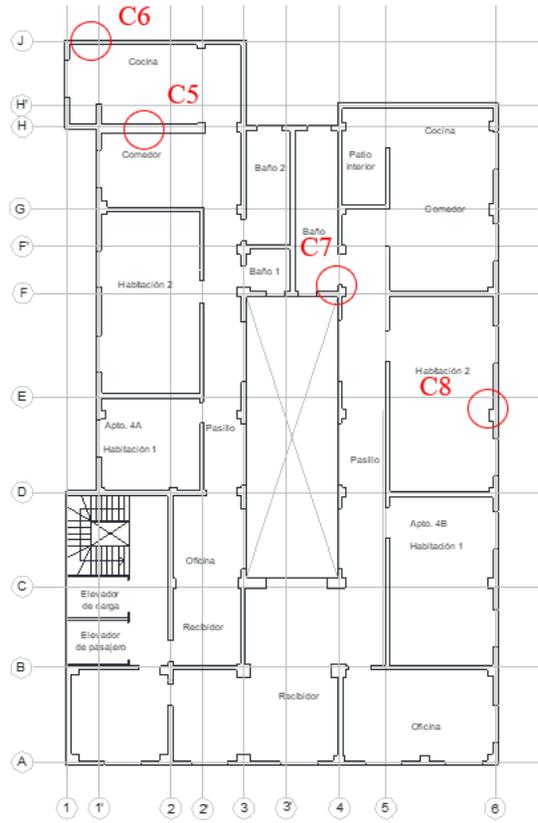


Figura 11. Localização das aberturas no 5º andar

### 3.3 Avaliação do tempo de vida útil

A Figura 12 mostra uma representação gráfica da vida útil de uma estrutura proposta por Castro-Borges e Helene (2007).

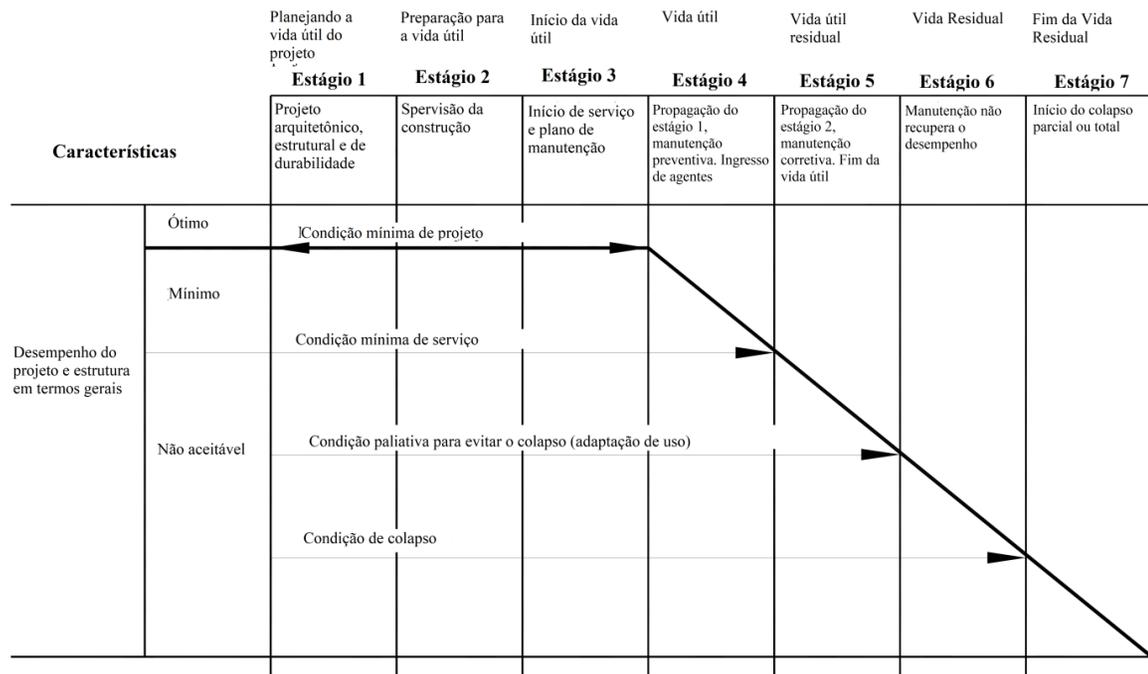


Figura 12. Modelo conceitual de vida útil de uma estrutura (Castro-Borges e Helene, 2018)

Os resultados do diagnóstico em lajes e pilares mostram uma deterioração avançada que se estende a todos os andares do edifício. A extensão, a magnitude e a gravidade das manifestações patológicas mostram que elas estão se desenvolvendo por um período prolongado de tempo, sem a aplicação de manutenção adequada no tempo de vida útil, de forma programada ou sistemática. Com base em toda a análise apresentada anteriormente, deve-se considerar, de acordo com o modelo de vida útil proposto, que o edifício está no “estado 5” e necessita intervenção, ou seja, a deterioração pode e vai continuar e se não forem tomadas medidas corretivas a tempo poderá haver um acidente grave.

#### 4. CONCLUSÕES

Os danos de um edifício do início do século XX em Havana foram diagnosticados. Em geral, os danos causados principalmente pela corrosão dos aços da armadura foram registrados em toda a estrutura. No caso de mezanino e lajes de cobertura, a magnitude das manifestações patológicas presentes nas áreas de cozinhas e banheiros não permite a sua reabilitação através de manutenção de rotina, pois as barras perderam mais de 90% de sua seção.

Considerando que a estrutura é baseada em um sistema aporticado, estas lajes podem ser demolidas e substituídas por novos sistemas que aliviam as cargas dos pilares e da estrutura em geral, como vigas e abóbadas, ou outras técnicas de mezanino.

Com relação aos pilares, muitos deles estão fissurados como resultado da corrosão das barras e perfis, no entanto, seus efeitos não são tão significativos e podem ser devidamente reabilitados.

O estado atual de conservação da propriedade não apresenta condições de segurança aceitáveis para continuar com seu uso, sendo necessária a realização de diversas ações de reparo e o desenvolvimento de um plano de manutenção corretiva que permita prolongar a vida útil da estrutura.

#### 5. REFERÊNCIAS

- ACI:562M-16. (2016). *Code Requirements for Assessment, Repair, and Rehabilitation of Existing Concrete Structures and Commentary*.
- Andrade, C. and Alonso, C. (2004), *Test methods for on-site corrosion rate measurement of steel reinforcement in concrete by means of the polarization resistance method*. RILEM TC 154-EMC: Electrochemical Techniques for Measuring Metallic Corrosion.
- Andrade, C. and D'Andrea, R. (2011), *La resistividad eléctrica como parámetro de control del hormigón y de su durabilidad*. Revista ALCONPAT, 1(2): 93-101, DOI: <http://dx.doi.org/10.21041/ra.v1i2.8>
- Andrade, J. and Dal Molin, D. (2000), *A Case Study about Degradation of Reinforced Concrete Structures in a Marine Macro environment in Brazil*. NDT.net, <http://www.ndt.net/article/v05n02/andrade/andrade.htm>.
- ASTM C876 (2009). *Standard Test Method for Corrosion Potentials of Uncoated Reinforcing Steel in Concrete*.
- ASTM C1152/C1152M-04 (2004), *Standard Test Method for Acid-Soluble Chloride in Mortar and Concrete*.
- Azarsa, P. and Gupta, R. (2017), *Electrical resistivity of concrete for durability evaluation: a review*. Advances in Materials Science and Engineering, 2017. <https://doi.org/10.1155/2017/8453095>
- Castañeda, A., Howland, J. J., Corvo, F. and Pérez, T. (2013), *Corrosion of steel reinforced concrete in the tropical coastal atmosphere of Havana City, Cuba*. Quimica Nova, 36: 220-229.
- Castañeda, A. and Rodriguez, M. R. (2014), *Las pérdidas económicas causadas por el fenómeno de la corrosión atmosférica del acero de refuerzo embebido en el hormigón armado*. Revista CENIC Ciencias Químicas, 45: 52-59.

- Castañeda, A., Valdés, C. and Corvo, F. (2018), *Atmospheric corrosion study in a harbor located in a tropical island*. Materials and Corrosion, 1-16. <http://dx.doi.org/10.1002/maco.201810161>
- Castro-Borges, P. and Helene, P. (2007), *Service Life of Reinforced Concrete Structures: New Approach*. ECS Transactions, 9(13): 9-14. <http://dx.doi.org/10.1149/1.2721426>
- Castro-Borges, P., and Helene, P. (2018). *Un enfoque conceptual holístico para la vida de servicio del concreto: división en diferentes etapas de tiempo*. Revista ALCONPAT, 8(3), 280 - 287. doi: <http://dx.doi.org/10.21041/ra.v8i3.324>
- Chávez, E., Chab, R. C., Baz, M. S., Castro-Borges, P. and López, T. P. (2013), *Corrosion Process of Reinforced Concrete by Carbonation in a Natural Environment and an Accelerated Test Chamber*. International Journal of Electrochemical Science, 8: 9015-9029.
- Costa, A. and Appleton, J. (2002), *Case studies of concrete deterioration in a marine environment in Portugal*. Cement and Concrete Composite, 24: 169-179.
- Couto, D., Carvalho, M., Cintra, A. and Helene, P. (2015), *Concrete structures. Contribution to the safety assessment of existing structures*. IBRACON Structures and Materials Journal, 8(3): 365-389. <http://dx.doi.org/10.1590/S1983-41952015000300007>
- CYTED (2003), *Manual de rehabilitación de estructuras de hormigón, reparación, refuerzo y protección*, Red temática XV.B.
- D'Andréa, R. and Andrade, C. (2009), *Predicción de la vida útil de las estructuras mediante el uso de la resistividad como indicador de durabilidad*. In: IETCC (Editor), Aplicaciones prácticas de seguridad y durabilidad de estructuras de hormigón, Buenos Aires. Argentina, pp. 1-31.
- GEOCISA S. A. (2002), *Manual de evaluación de estructuras afectadas por corrosión de la armadura*. In: Geocisa (J. Rodríguez y J. Aragoncillo). Y por el Instituto de Ciencias de la Construcción "Eduardo Torroja" del CSIC (C. Andrade y D Iquierdo) dentro del proyecto de Innovación CONTECVET-IN 309021, pp. 152.
- Gowers, K. R. and Millard, S. G. (1999), *Measurement of Concrete Resistivity for Assessment of Corrosion Severity of Steel Using Wenner Technique*, American Concrete Institute.
- Helene, P. and Castro-Borges, P. (2009), *A novel method to predict concrete carbonation*. Concreto y Cemento. Investigación y Desarrollo, 1(1): 25-35.
- Howland, J. J. (2012), *"Desempeño por durabilidad de las estructuras de hormigón armado"*. Instituto Politécnico de La Habana, Departamento de Ingeniería Civil, 196 pp.
- NACE SP0390 (2009), *Maintenance and rehabilitation considerations for corrosion control of atmospherically exposed existing steel-reinforced concrete structures*.
- Oroza, A. H. and Bouza, D. G., (2015), *Influencia del micro-ambiente en el interior de una edificación sobre la corrosión del acero de refuerzo*. Revista CENIC Ciencias Químicas, 46: 45-55.
- Oroza, A. H., Pimentel, F. R., Parrab, E. P., León, L. M. D. and Amorós, Y. G. (2016), *Development of two analytical methods for determination of water-soluble chlorides and sulfates in the conservation of concrete heritage buildings*. Journal of Building Chemistry, 1: 61-68. <http://dx.doi.org/10.17461/j.buildchem.2016.201>
- Presuel Moreno, F., Liu, Y. and Paredes, M. (2009), *Understanding the Effect of Rebar Presence and/or Multilayered Concrete Resistivity on the Apparent Surface Resistivity Measured via the Four Point Wenner Method*. NACE International.
- Ramezani-pour, A. A., Pilvar, A., Mahdikhani, M. and Moodi, F. (2011), *Practical evaluation of relationship between concrete resistivity, water penetration, rapid chloride penetration and compressive strength*. Construction and Building Materials, 25: 2472-2479. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2010.11.069>
- Sanchez, J., Andrade, C., Torres, J., Rebolledo, N. and Fullea, J. (2017), *Determination of reinforced concrete durability with on-site resistivity measurements*. Materials and Structures, 50(41): 1-9. <http://dx.doi.org/10.1617/s11527-016-0884-7>

- Toraya, J. C. (2001), "*500 Años de construcciones en Cuba*". D.V. Chavín, Servicios Gráficos y Editoriales, S.L., Madrid, 557 pp.
- Vera, R., Villarroel, M., Delgado, D., Carvajal, A. M., De Barbieri, F. and Troconis, O. (2009), *Influencia de la Acción del Medio Ambiente en la Durabilidad del Concreto. Parte 2*. Revista de la Construcción, 8(1): 13-23.
- Yu, B., Liu, J. and Chen, Z. (2017), *Probabilistic evaluation method for corrosion risk of steel reinforcement based on concrete resistivity*. Construction and Building Materials, 138: 101–113. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.01.100>