



TEMA 1 - Patologia das construções

Manifestações Patológicas em laje de cobertura: estudo de caso

Profa. Dra. Sandra Maria de Lima^a, Graduando Tecgo. Controle de Obras
Wilson Gomes Siqueira^b

^{1,2} Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia de Mato Grosso – Campus Cuiabá, Rua
Zulmira Canavarros, 95, cep 78005-200 , Cuiabá, Mato Grosso, Brasil

^asandra.lima@cba.ifmt.edu.br, ^bwgsiqueira@terra.com.br

Palavras-chave: concreto, manifestações patológicas, ensaios não-destrutivos

Resumo

Este trabalho apresenta os resultados de um laudo técnico realizado para identificar as manifestações patológicas em uma laje de cobertura, construída há trinta anos. As análises foram feitas a partir de inspeção visual, com a qual produziram-se documentos fotográficos. Ensaios não-destrutivos foram utilizados para aferir a homogeneidade da estrutura e para estimativa da resistência mecânica. Utilizou-se o ultrassom para determinar a homogeneidade da estrutura e a esclerometria foi utilizada para determinação do índice de dureza superficial e para estimativa da resistência à compressão do concreto. Foram observadas manifestações patológicas decorrentes da degradação dos elementos construtivos, como por exemplo ressecamento de impermeabilizações com mantas asfálticas, outras por ausência de manutenção, como entupimento de condutores de águas pluviais e ainda manifestações devido à deterioração do concreto levando à processos de corrosão do aço. Ainda foram observados alguns vícios de construção, como a incorreta ancoragem dos sistemas de impermeabilização em ralos captadores de águas pluviais. Cada uma das patologias apontadas foram descritas e sugeriu-se medidas corretivas e outras de prevenção para ampliar a vida útil da laje de cobertura.

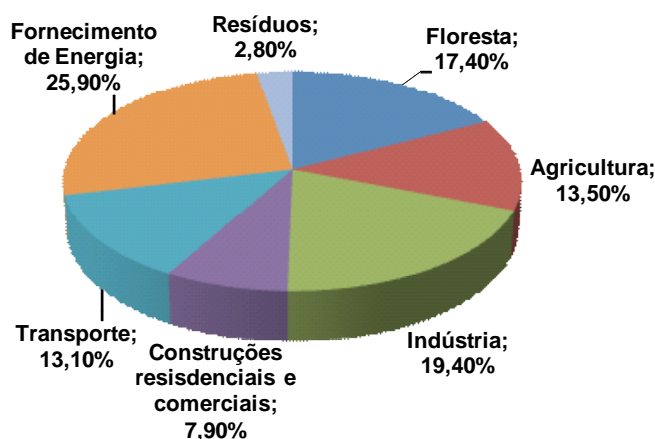
Introdução

A Patologia das Estruturas é um recente ramo da Engenharia que vem conquistando a sua importância devido à necessidade de prorrogar a vida útil das estruturas por motivos econômicos e ambientais. É definida como sendo o campo da Engenharia que se ocupa do estudo das origens, formas de manifestação, conseqüências e mecanismos de ocorrência das falhas e dos sistemas de degradação das estruturas [1].

Em países desenvolvidos como França, Reino Unido e Itália, estudos mostram que 50 % ou mais dos investimentos em construção civil são destinados às obras de manutenção e recuperação estrutural [2].



Ambientalmente, a relevância do tema é ainda maior, visto o acelerado processo de degradação do meio ambiente, de esgotamento dos recursos naturais e da perda de qualidade de vida, como por exemplo, o aquecimento global, causado pelo uso indiscriminado das matérias primas e dos processos industriais envolvidos na construção civil, os quais são responsáveis por grandes emissões de CO₂ no meio ambiente, como ilustrado pela Fig. 1.



Obs: 5% das emissões de CO₂ provem da indústria de cimento

Figura 1. Emissões globais de origem antropogênica de gases de efeito estufa em 2004. [3]

Posto isto, este trabalho quer colaborar com a divulgação da importância do tema como também colaborar com o desenvolvimento desse recente ramo da Engenharia - Patologia das Estruturas.

Serão apresentadas as manifestações patológicas observadas em uma laje de cobertura, cujo programa de manutenção foi negligenciado, além de ser constituída por um traço de concreto pobre e cujo processo construtivo também incorreu em vícios.

Descrição do objeto de estudo – problema analisado

Trata-se de uma laje de concreto armado, com idade próxima a 30 anos, sem cobertura, protegida em sua parte superior por manta asfáltica e uma camada de argamassa. Na parte inferior, a laje teve sua área rebocada e pintada com pintura látex. A laje tem área total de 160 m² com extensão de 57,30 m e 2,80 m de largura, constituindo um ambiente avarandado, destinado ao acesso de um edifício público (Fig. 2).



2a – Vista da face inferior da laje em estudo



2b – Vista da face superior da laje em estudo

Figura 2. Vista geral da laje em estudo – (2a) Vista inferior; (2b) Vista superior.

Metodologia

Com o intuito de se identificar as manifestações patológicas, adotou-se como metodologia a inspeção visual, a qual procurou detectar as causas intrínsecas e extrínsecas aos processos de deterioração do concreto, conforme definido por Souza e Ripper [1]. Tais definições podem ser resumidas e entendidas a partir dos quadros apresentados nas Fig. 3 e Fig. 4.

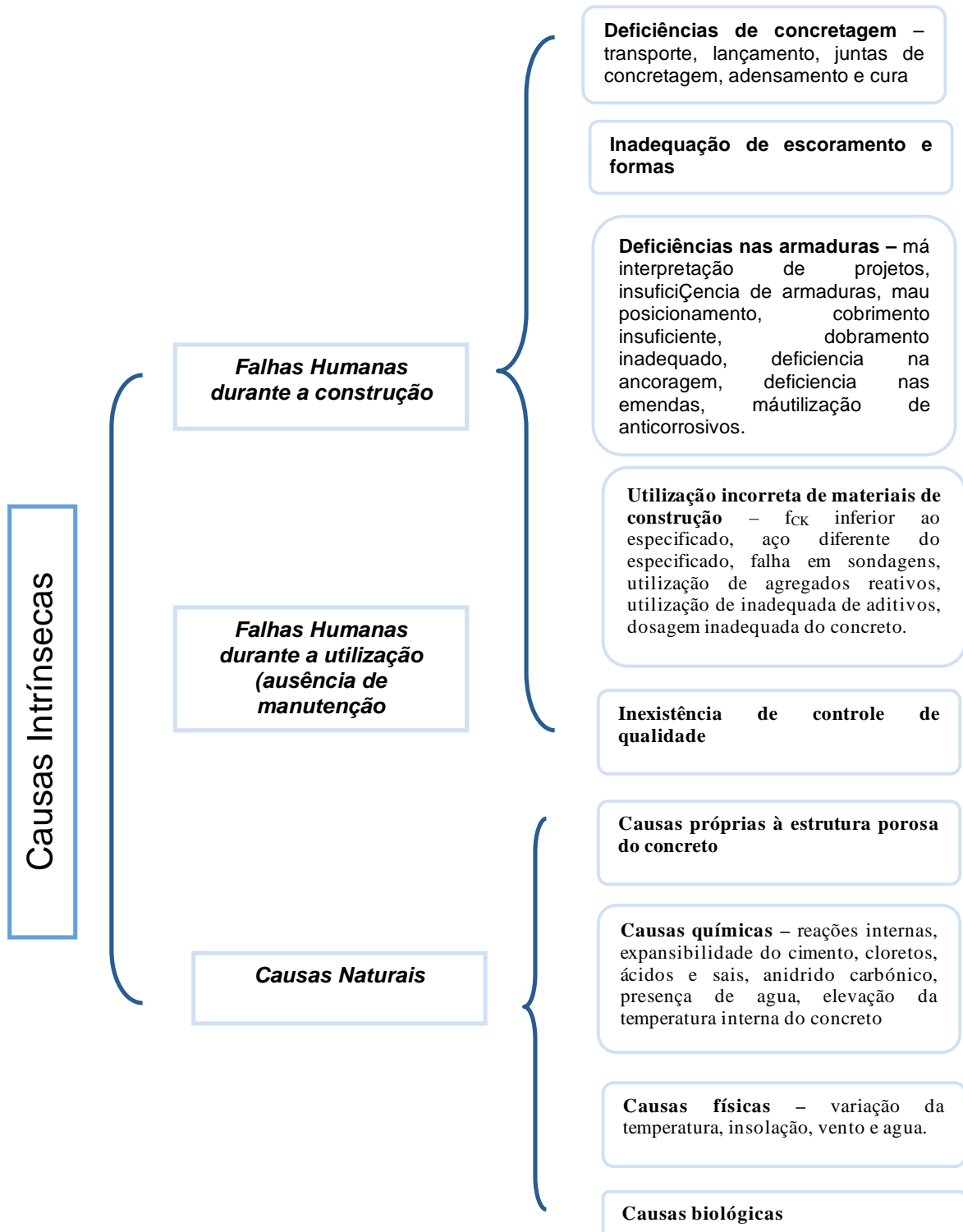


Figura 3. Causas intrínsecas aos processos de deterioração das estruturas de concreto. Fonte: Souza e Ripper [1].

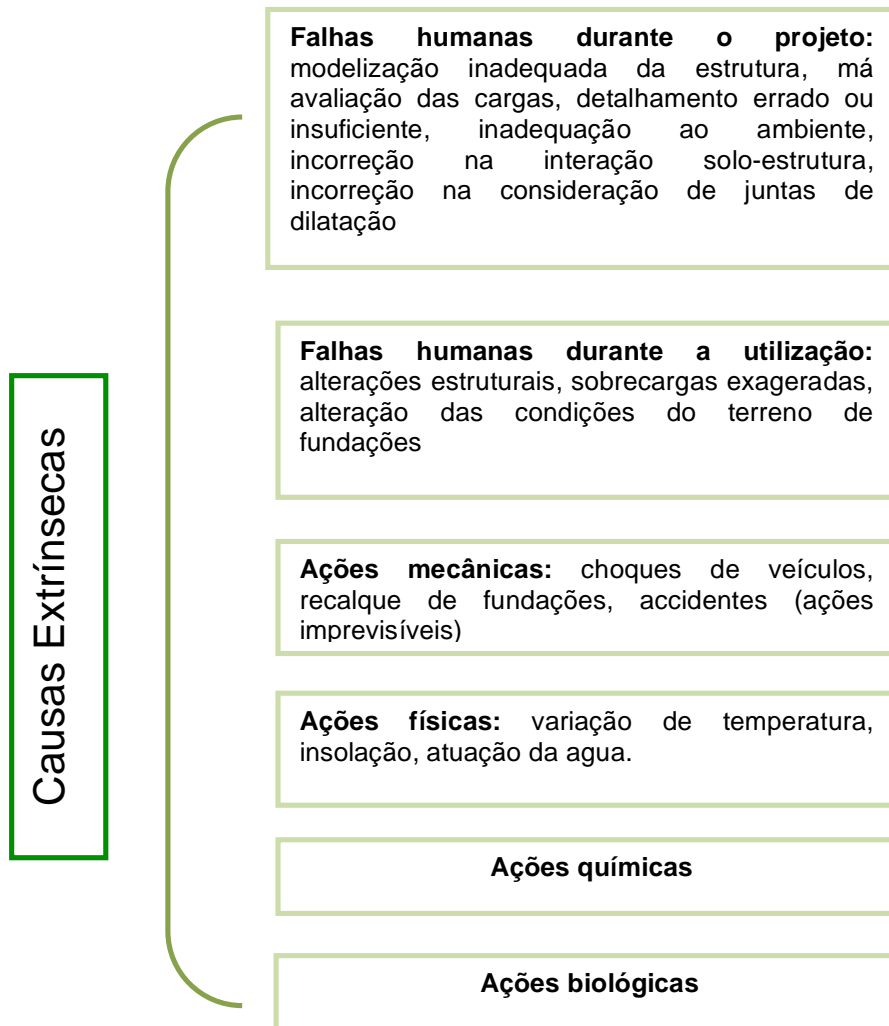


Figura 4. Causas extrínsecas aos processos de deterioração das estruturas de concreto. Fonte: Souza e Ripper [1].

Além das inspeções visuais, lançou-se mão de ensaios não-destrutivos como ultrassom e esclerometria para análise do estado de deterioração do concreto. Segundo PADARATZ [4], os ensaios não destrutivos avaliam o estado de segurança e de desempenho de uma estrutura sem danificá-la fisicamente. Além de outras aplicabilidades na engenharia Civil, os ensaios não-destrutivos são utilizados principalmente para estimar a resistência do concreto, sua uniformidade, detectar defeitos, estimar o desempenho e auxiliar na recuperação estrutural.



Experimentação – inspeção visual

Baseando-se nas causas intrínsecas e extrínsecas de deterioração das estruturas de concreto relacionadas por Souza e Ripper [1] procedeu-se à inspeção visual da laje em estudo. Iniciou-se a inspeção pela face superior da laje e as manifestações patológicas identificadas estão relacionadas e ilustradas a seguir (Fig.5, Fig 6, Fig.7 e Fig. 8).

Causas intrínsecas – face superior: falhas humanas durante a construção

Manifestação patológica

Impurezas nos materiais:
madeira inserida na
argamassa de proteção



Juntas de concretagem sem
vedação e localizadas em
pontos suscetíveis como
descarga de coletores de
águas pluviais



Falhas de ancoragem da
manta asfáltica – instalação
de conduítes após término da
aplicação da manta



Falhas de acabamento
conduzindo as águas pluviais
para nichos de acúmulo



Medida corretiva proposta

Retirada das impurezas e
preenchimento com
argamassa polimérica

Limpeza das juntas e
preenchimento com material
betuminoso; desvio da
captação de águas pluviais

Revisão dos pontos de
ancoragem de conduítes e
coletores de águas pluviais

Refazer a camada de
proteção para corrigir o
caimento

Figura 5. Inspeção visual na face superior da laje em estudo: causas intrínsecas – falhas humanas durante a construção.



Cinpar
2010

VI CONGRESSO INTERNACIONAL SOBRE
PATOLOGIA E REABILITAÇÃO DE ESTRUTURAS
2, 3 e 4 junho 2010 · Córdoba, Argentina

Causas intrínsecas – face superior: falhas humanas durante a utilização – ausência de manutenção





Causas intrínsecas – face superior: causas naturais

Manifestação patológica

Fissuração e trincamento da argamassa de proteção mecânica pela ação da temperatura

Desenvolvimento de vegetação acarretando em quebra do sistema de impermeabilização, entupimento de condutores de água pluviais



Medida corretiva proposta

Manutenção da argamassa de proteção mecânica com pastas poliméricas, ou mesmo argmassas

Limpeza periódica da estrutura

Figura 7. Inspeção visual na face superior da laje em estudo: causas intrínsecas – causas naturais

Causas extrínsecas – face superior: falha durante o projeto

Manifestação patológica

Ausência de proteção dos pontos de captação – detalhamento do projeto



Medida corretiva proposta

Instalação de grelhas nos pontos de captação para evitar entupimento dos condutores e posterior acúmulo de água na laje

Figura 8. Inspeção visual na face superior da laje em estudo: causas extrínsecas



Pela inspeção visual da face inferior da laje foi possível constatar as manifestações patológicas ilustradas nas figuras de 9 a 11.

Causas intrínsecas – face inferior: falhas humanas durante a construção
Manifestação patológica

Presença de taliscas de madeira inseridas na massa do concreto



Medida corretiva proposta

Retirada das impurezas e preenchimento com argamassa polimérica

Mau posicionamento de armaduras por falta de espaçadores – corrosão de armaduras



Limpeza das armaduras; proteção por meio de pintura epóxi e revestimento com argamassa polimérica

Camada de revestimento com vários pontos de cal em contato com armadura – corrosão de armaduras



Limpeza das armaduras; proteção por meio de pintura epóxi e revestimento com argamassa polimérica



Figura 9. Inspeção visual na face inferior da laje em estudo: causas intrínsecas



– falhas humanas durante a construção.

**Causas intrínsecas – face inferior: falhas humanas durante a utilização
pela ausência de manutenção**

Manifestação patológica

**Medida corretiva
proposta**

Manchas de umidade na
face inferior, formação de
lodo no contorno dos
captadores de águas
pluviais



Destacamento de
revestimento pelo excesso
de umidade e lixiviação
dos silicatos do concreto



Eliminação da causa da
infiltração na superfície
superior e revestimento
impermeável com
argamassas poliméricas e
constante manutenção da
pintura. Eliminação do
processo de corrosão das
armaduras.

Figura 10. Inspeção visual na face inferior da laje em estudo: causas intrínsecas – falhas humanas durante a utilização.



Causas intrínsecas – face inferior: causas naturais e próprias à estrutura porosa do concreto

Manifestação patológica

**Medida
corretiva
proposta**

Reações internas:
carbonatação,
penetração cloretos,
expansibilidade, etc



Eliminação da
causa da
infiltração na
superfície superior
e revestimento
impermeável com
argamassas
poliméricas e
constante
manutenção da
pintura.
Eliminação do
processo de
corrosão das
armaduras.

Figura 11. Inspeção visual na face inferior da laje em estudo: causas intrínsecas – próprias à estrutura porosa do concreto e causas químicas.

Experimentação: ensaios não-destrutivos

Para avaliar a extensão dos danos causados pelas manifestações patológicas descritas na seção anterior, foram realizados ensaios de esclerometria e ultrassonografia nos pontos mais críticos da laje de cobertura.

Estes pontos correspondem àqueles em que se observaram manchas de umidade e descolamento de revestimento (Fig. 12).

O revestimento foi removido e as armaduras expostas com o intuito de encontrar o ponto em que as mesmas não apresentassem vestígios de corrosão.



Figura 12. Remoção do revestimento da laje para realização de ensaios não-destrutivos

Ao todo foram requadros sete pontos ao longo da laje e realizou-se 13 ensaios de esclerometria segundo as recomendações da NBR 7584:1995 – Concreto endurecido – avaliação da dureza superficial pelo esclerômetro de reflexão, cujos resultados estão expressos na Tabela 1.

Tabela 1 – Resultados dos índices esclerométricos em diversos pontos na superfície inferior da laje em estudo

Pontos	Índice esclerométrico	Conversão para resistência segundo escala do fabricante (MPa)
1	46	38
2	48	41
3	48	41
4	45	38
5	44	34
6	48	41
7	50	45
8	46	38
9	48	41
10	38	23
11	48	41
12	45	36
13	46	38
Média	46	38
Desvio padrão	3,0	5,3
Coefficiente de variação	6%	14%



A figura 13 ilustra a realização dos ensaios de esclerometria.



Figura 13 – Ensaio de esclerometria

O aparelho utilizado para realização dos ensaios de esclerometria é um esclerômetro de reflexão Soiltest Inc. 2205 LEE ST.

Ao longo dos sete requadros e em áreas coincidentes com os ensaios de esclerometria realizaram-se ensaios de ultrassonografia, pelo método indireto (Fig. 14). Entretanto, somente quatro pontos mostraram resultados consistentes e o cálculo da velocidade da propagação da onda foi feito pelo método gráfico (Fig. 15). Os resultados obtidos estão expressos na Tabela 2.



Figura 14 – Ensaio de ultrassonografia

O modelo do aparelho utilizado para realização dos ensaios de ultrassonografia foi o Aparelho – ultra-som – 58-E0048 – Controls.



Tabela 2 – Resultados do ensaio de ultrassonografia

Pontos	Distância (mm)	Tempo (μ s)	Velocidade V (km/s)	Módulo Dinâmico - E_D (MPa)
1	50	193,5		
	100	214,3		
	150	220,2		
	200	300,2		
			1,41	4492
2	50	135,8		
	100	226,7		
	150	292,8		
	200	533,8		
			0,38	323
3	50	86,5		
	100	103,8		
	150	133,7		
	200	149,9		
			2,37	12723
4	50	35,6		
	100	156,2		
	150	175,1		
	200	183,7		
			1,01	2332

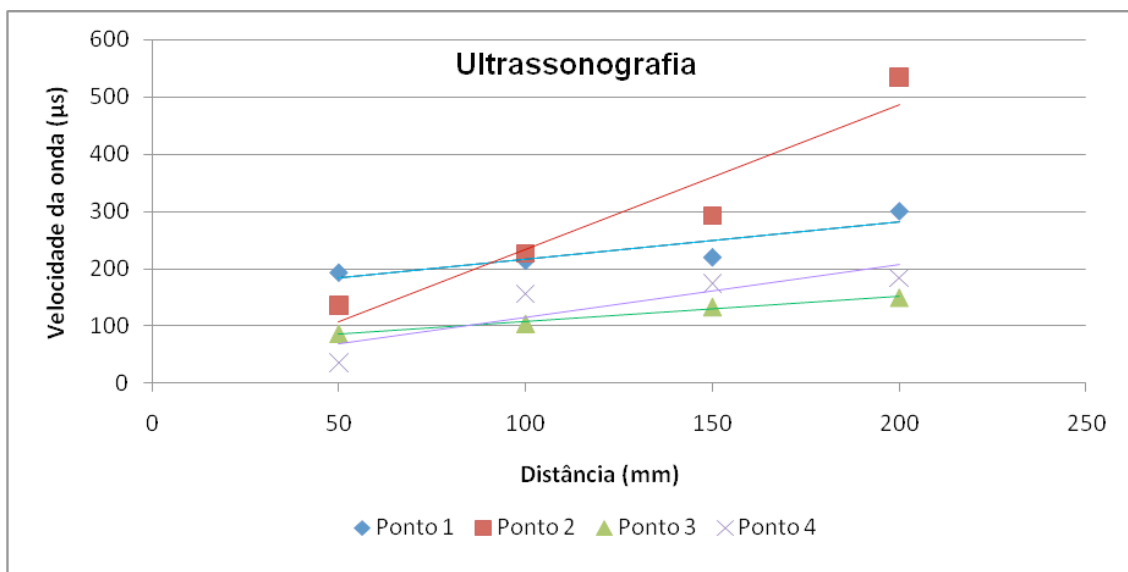




Figura 15. Gráfico resultante do ensaio de ultrassonografia para cálculo da velocidade média da onda de som em cada ponto.

O cálculo do módulo de elasticidade dinâmico considerou a Eq.1.

$$E_D = V^2 \times \rho \frac{(1 + \gamma) \times (1 - 2\gamma)}{(1 - \gamma)}$$

[1]

Onde: E_D = módulo de elasticidade dinâmico em MPa

V = velocidade da propagação de onda em km/s

ρ = densidade do concreto – adotada em 2400 kg/m³

γ = coeficiente de Poisson – adotado em 0,15

Discussão dos resultados e conclusões

Por meio da inspeção visual realizada constatou-se que a principal causa da deterioração da estrutura de concreto é oriunda da ausência de manutenção e de alguns vícios de construção. Podem ser elencadas como causas principais os itens seguintes:

- 1) Ressecamento da manta asfáltica e falhas nas ancoragens das mesmas;
- 2) Recobrimento insuficiente das armaduras;
- 3) Porosidade excessiva do concreto;
- 4) Ausência da manutenção da pintura da estrutura;

A esclerometria mostrou que, apesar da estrutura porosa do concreto, o material mantém uma boa dureza superficial, em torno de 38 MPa e índice esclerométrico igual a 46. Tais valores foram obtidos para as áreas mais afetadas pela degradação, ou seja aquelas com infiltrações de água. Houve uma variação nesses resultados expressos pelo coeficiente de variação de 6% para o índice esclerométrico e 14% para a estimativa da dureza superficial.

Já o resultado da ultrassonografia foi muito disperso, sendo que alguns resultados tiveram que ser descartados pela inconsistência. A variação foi muito maior para esses resultados que para aqueles da esclerometria. Disso pode-se constatar que há grande heterogeneidade ao longo dos pontos ensaiados, quer seja pela porosidade, quer seja pela presença de fissuras e trincas na estrutura.

Ambos os ensaios não-destrutivos terão seus resultados confirmados pela continuidade desses estudos por meio da extração de testemunhos de concreto, os quais serão submetidos aos ensaios de resistência à compressão, módulo de elasticidade e absorção de água por imersão.

Alguns desses testemunhos já foram extraídos e rompidos diametralmente para verificar a extensão da carbonatação, conforme ilustrado na Fig.11, comprovando-se a reação por toda a profundidade do corpo-de-prova.



Tal fato pode ser explicado pela estrutura porosa do concreto, pela presença de pontos de cal no reboco em contato direto com a estrutura e ainda pela presença das chuvas ácidas, comuns em nossa região, devido à atmosfera carregada de CO₂ pelas queimadas.

Todos estes pontos, atrelados ao recobrimento insuficiente das armaduras, a percolação de água e ar pela estrutura de concreto, favoreceram e explicam a corrosão das armaduras.

Entretanto, a laje não apresenta flechas excessivas e pode ser recuperada por meio das terapias propostas nas Figuras de 5 a 11.

Referências

[1] SOUZA, V.C.M DE; RIPPER, T. **Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto**. São Paulo: Pini, 1998.

[2] MEDEIROS, M.; HELENE, P.R.L.. Concreto armado x ambiente marítimo: por que proteger e o que considerar para especificar ?. **Concreto e Construções**, n.49, p.23-28, 2008.

[3] PEDROSO, F.L. Seminário de Sustentabilidade aponta os caminhos para o desenvolvimento sustentável na construção civil – 51º Congresso Brasileiro do Concreto. **Concreto e Construções**, n.56, p.100 - 108, 2009.

[4] PADARATZ, I. Ensaio não-destrutivos (palestra – 5º CINPAR). **Concreto e Construções**, n.55, p.45, 2009.