Anais do Congresso Brasileiro de Patologia das Construções
CBPAT2016

Abril de 2016
ISSN 2448-1459

ANÁLISE DAS CONDIÇÕES ESTRUTURAIS PARA RECUPERAÇÃO DE OBRAS ABANDONADAS: UM ESTUDO DE CASO (PRF)

M. L. SANTOS FILHO
Engenheiro Civil PhD
Universidade Federal do Paraná
Paraná; Brasil
maurolacerda1982@gmail.com

D. J. SOUZA
Engenheiro Civil.
Universidade Federal do Paraná
Paraná; Brasil.
diegojesusdesouza@hotmail.com

C. FALAVIGNA
Graduando em Engenharia Civil
Universidade Federal do Paraná
Paraná; Brasil
cezfalasilva@gmail.com

C. M. ROSA
Graduanda em Engenharia Civil
Universidade Federal do Paraná
Paraná; Brasil
camila_mrosa@yahoo.com.br

C. A. ESTEVES
Graduando em Engenharia Civil
Universidade Federal do Paraná
Paraná; Brasil
estevesian@hotmail.com

RESUMO

A construção civil é um dos setores que mais sofre as consequências dos fatores econômicos, isto foi possível observar nos investimentos dos anos de 1980 e 1990 se comparados com o até final dos anos 2000. Devido à instabilidade econômica do Brasil nas décadas de 80 e 90, hoje se encontram muitas edificações inacabadas no país, seja na esfera privada ou na pública. O presente artigo trata da análise das condições estruturais de um edifício comercial cuja construção foi interrompida há 25 anos. A fim de questionar a estabilidade do prédio para avaliar uma possível reabilitação, o estudo apresenta os resultados de diversos ensaios, como de ultrassom, resistividade elétrica do concreto, carbonatação e esclerometria. Em comparação com valores normativos, os parâmetros obtidos com os ensaios auxiliam no parecer de durabilidade da edificação e de qualidade do concreto. Além disso, com o projeto original, fora realizada a modelagem do edifício em elementos finitos para que se permitisse avaliar se a estrutura ainda pode receber as cargas previstas ou se são necessárias readequações de projeto.
Palavras-chave: Estabilidade de obras abandonadas, Ensaios não destrutivos, Modelagem em elementos finitos.

ABSTRACT

Economic factors have a great influence in many departments and one of the most impacted is construction. In Brazil, this fact is easily noticed in investments of the 1980s and 1990s when compared to the late 2000s. Due to Brazil's economic instability on 80's and 90's, nowadays there are many unfinished buildings, whether in private or public sphere. This article deals with a commercial building's structural conditions, which construction was interrupted 25 years ago. In order to questioning the building's stability to evaluate its rehab, this study shows results of several tests, such as ultrasound, electrical resistivity of concrete, carbonation and concrete's sclerometry. Compared to normative values, the tests' parameters assist in conclusions about the building's durability and concrete's quality. Beyond that, featuring the original executive project, a finite element modeling has been done to allow the verification if the structure is still available to receive the provided load or it is necessary to make project changes.
Key-words: Abandoned structure's stability, Non-destructive tests, Finite element modeling.

Abril de 2016
ISSN 2448-1459

1. INTRODUÇÃO

O estudo das condições estruturais de obras interrompidas e abandonadas é essencial na avaliação de uma possível reabilitação da estrutura. Em diversas situações, por estarem constantemente expostas ao meio ambiente e não estarem protegidas, as estruturas acabam por apresentar manifestações patológicas que comprometem seu desempenho estrutural, exigindo reparos e, por vezes, reforços com readequação de projeto.

Para que o estudo apresente resultados confiáveis, é imprescindível que ensaios sejam realizados, a fim de que seja possível determinar com maior precisão os mecanismos de deterioração atuantes na obra [1]. Conhecidos os problemas que a estrutura apresenta, é possível o desenvolvimento de um estudo mais aprofundado acerca dos métodos de intervenção, produzindo resultados mais consistentes.

Os ensaios escolhidos para a análise desse estudo de caso foram: esclerometria, ultrassom, resistividade elétrica do concreto e profundidade de carbonatação, por estes serem ensaios com boa confiabilidade de resultados [2-6].

A esclerometria está relacionada à dureza superficial do concreto que, de certa forma, é um indicador da saúde do elemento ensaiado e, concomitantemente, associável a outras propriedades do concreto endurecido [3][4]. O equipamento mais utilizado para esse ensaio é o martelo de Schimidt, o qual fornece o chamado índice esclerométrico através da medição da energia de reflexão ao golpe a partir do impacto gerado [7]. Assim, é possível verificar a uniformidade do material na estrutura e estimar a resistência à compressão do concreto ensaiado por fórmulas e ábacos empíricos ou por correlações com resultados de rompimento de testemunhos extraídos na estrutura ensaiada [4]. Dessa forma, a esclerometria mostra-se um recurso bem interessante na avaliação da resistência de elementos em obras abandonadas.

O ensaio de ultrassom apresenta resultados importantes na avaliação da qualidade do material de campo, uma vez que permite a identificação de nichos de concretagem interiores ao elemento ensaiado, por exemplo. Assim, quando é feita a análise qualitativa da peça, é possível saber onde há falhas e quais as suas influências no desempenho da estrutura [5][6].

O ensaio de resistividade elétrica aponta a capacidade do concreto de resistir à condução elétrica. Através de tal parâmetro é possível avaliar a probabilidade de ocorrência de corrosão na armadura. A região mais indicada para a realização desse ensaio é o pé do pilar, visto que geralmente está suscetível aos processos de corrosão das armaduras devido à maior possibilidade de falhas de preenchimento, maior concentração de armadura e maior propensão à umidade [8].

A carbonatação é um processo que se desenvolve por perda de alcalinidade do concreto e consiste na formação de carbonato de cálcio decorrente da reação dos compostos alcalinos da pasta com o ácido carbônico que resulta do contato entre a umidade presente no concreto em contato com o gás carbônico presente no ar [9]. A redução do pH acontece a partir da superfície das peças estruturais em direção ao seu interior, podendo chegar até as armaduras, ocasionando a despassivação das barras de aço. A fim de identificar a profundidade a qual chegou a carbonatação, são realizados testes com a aspersão de indicadores de pH sobre parte destacada do concreto, sendo a solução aquo-alcoolica de fenolftaleína, o indicador mais comum para este fim [10-12]. Portanto, estruturas expostas a ambiente com grande incidência de gás carbônico, no caso, o ambiente urbano, estão propensas a apresentar uma maior profundidade de carbonação, que se atingir as armaduras pode comprometer as condições estruturais. Sendo assim, nota-se que estruturas expostas ao meio ambiente estão sujeitas a apresentar grande profundidade de carbonatação, fator que, caso atinja as armaduras, pode comprometer fortemente as condições estruturais.

A modelagem computacional de uma estrutura permite uma comparação entre o analisado em campo e o esperado por projeto. Assim, utilizar esse recurso para obras abandonadas mostra-se apropriado, uma vez que há chances de a estrutura se comportar de forma diferente da desejada. Além disso, a análise estrutural auxilia na determinação das regiões mais problemáticas da obra.

2. PROGRAMA EXPERIMENTAL

A obra em estudo é um prédio da Polícia Rodoviária Federal (PRF) localizado no município de Colombo, Paraná. Sob responsabilidade do Departamento Nacional de Estradas e Rodagem (DNER) foi feito o projeto da edificação, em outubro de 1979. Em maio de 1980, houve alterações no projeto, sendo acrescido um balanço à estrutura. Após o início da obra, diante das condições econômicas do Estado na época, a construção foi interrompida, deixando apenas o

esqueleto do prédio. Hoje, a sede da PRF é constituída de uma instalação provisória à frente da obra inacabada e, para fornecer maior conforto aos inspetores, o órgão tem o intuito de reativar o prédio.

No projeto, notam-se algumas singularidades, como, por exemplo, a estrutura da laje, que é nervurada e sua parte central possui uma abertura para iluminação em formato trapezoidal; e as vigas externas, que têm formatos únicos. O esqueleto tem pé direito de 3,00 m e a distância entre pilares de 9,20 m. O balanço adicionado foi feito em laje mista e tem 4,20 m. A Figura 1 permite observar o corte longitudinal da estrutura (sem o balanço) e a Figura 2 mostra a obra em campo:

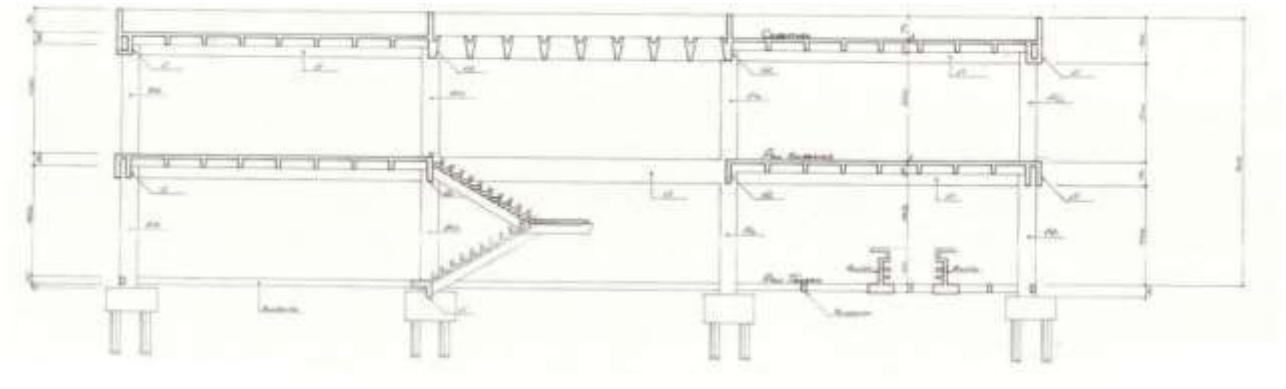

Figura 1: Corte longitudinal



Figura 2: Esqueleto do prédio

O método de avaliação adotado foi dividido em três etapas, sendo: inspeção visual, realização de ensaios em campo e modelagem da estrutura. Os procedimentos serão descritos a seguir.

2.1 Inspeção visual

Em uma primeira visita ao local, foi feita a inspeção visual a fim de avaliar previamente as condições de conservação da estrutura e auxiliar na determinação de ensaios que resultariam em parâmetros de maior confiabilidade. Algumas manifestações patológicas foram observadas, como exposição de armaduras por corrosão com desplacamento de concreto, manchas de umidade da laje, infiltração de água, crescimento de vegetação, fissuração e concentração de água (Figura).

Abril de 2016
ISSN 2448-1459



Figura 3: Manifestações patológicas - (a) Corrosão da armadura com desplacamento de concreto; (b) Manchas de umidade; (c) Infiltrações; (d) Vegetação incrustada; (e) Fissuração; (f) Concentração de umidade

2.2 Ensaios

Com a finalidade de identificar possíveis manifestações patológicas e alterações na qualidade do concreto, causados pela exposição da estrutura a intempéries, foram realizados ensaios de esclerometria, determinação de velocidade de propagação de ondas de ultrassom, resistividade elétrica e profundidade de carbonatação. Os três primeiros foram executados em 16 pilares, escolhidos de forma a representar da melhor maneira possível todas as condições de exposição e carregamento nos pilares da estrutura. Já a profundidade de carbonatação foi determinada para dois pilares, uma vez que este ensaio exige o destacamento de uma parte do concreto do elemento estrutural sendo parcialmente destrutivo e de execução mais complexa que os anteriores.

2.2.1 Esclerometria

Os ensaios de esclerometria seguiram as orientações presentes na NBR 7584:2012 [13]. As superfícies para ensaio são planas, sem descontinuidades e foram polidas com disco de carborundum. Posteriormente, o espaço para medição foi demarcado na altura média dos pilares com o auxílio de detectores magnéticos, a fim de evitar impactos em regiões de localização de armadura. Para cada pilar foram registrados 16 impactos, os quais foram aplicados com espaçamento de 3 centímetros entre eles. Para esse procedimento foi utilizado esclerômetro Silver Schimidt da Proceq. A Figura 4 mostra a superfície e a realização do ensaio:

Abril de 2016
ISSN 2448-1459



Figura 4: Execução do ensaio de esclerometria

Em acordo com a norma, foram desconsiderados os valores que se excediam a média dos 16 resultados de cada pilar em 10% para mais ou para menos, sendo recalculada a média depois de tal exclusão de valores. Para a estimativa dos valores de resistência à compressão axial do concreto, foi utilizada a Eq. 1 a seguir, apresentada pelo fabricante do equipamento utilizado:

$$f_{ck} = 2{,}77 . e^{0{,}048Q} \quad \text{(Eq. 1)}$$

Em que:
f_{ck} = Resistência característica do concreto à compressão;
Q = Índice médio de reflexão do aparelho.

2.2.2 Ultrassom

Para a determinação das velocidades de propagação de ondas ultrassônicas foi utilizado o equipamento "Ultrasonic Pulse Velocity - Pundit Lab" da empresa Proceq. Para tal, seguiram-se os procedimentos preconizados pela NBR 8802:2013 [14], e apresentados na Figura 5. Foi aplicado gel às faces de contato dos transdutores com a finalidade de garantir o contato adequado desta com a superfície do concreto. Os trandutores foram posicionados em faces opostas, arranjados, assim, para transmissão direta, configuração que fornece resultados mais precisos, uma vez que obtém-se a maior energia de propagação das ondas quando estas são transmitidas em ângulo reto com a face da peça e também devido à maior precisão na definição da distância entre os transdutores [6, 15].
A partir dos resultados obtidos com as leituras de velocidade de propagação do som, buscou-se definir o módulo de elasticidade estático do concreto, conforme Eq. 2, de acordo com a literatura [16]. Consequentemente, buscou-se obter a resistência à compressão do material estudado por meio de formulação (Eq. 3 e Eq. 4), conforme preconizado pela NBR 6118/2014 [17].

$$E_{ci} = V^2 . \rho . ((1+\nu) . (1-2\nu) / (1-\nu)) \quad \text{(Eq. 2)}$$

Sendo:
E_{ci} = Módulo de elasticidade, (MPa);
ν = Coeficiente de Poisson (adotado como 0,2)
V = Velocidade de propagação do som no concreto, (km/s);
ρ = Densidade do material, (kg/m³).

$$E_{ci} = \alpha E \cdot 5600 \cdot \sqrt{fck} \rightarrow Para\ fck\ de\ 20\ MPa\ a\ 50\ MPa \quad \text{(Eq. 3)}$$

$$E_{ci} = 21{,}5 \cdot 10\ 3 \cdot \alpha E \cdot (\sqrt{fck}\ 10 + 1{,}25)\ 1\ 3 \rightarrow Para\ fck\ de\ 55\ MPa\ a\ 90\ MPa \quad \text{(Eq. 4)}$$

Sendo:
αE = 1,0 (adotado para granito e gnaisse);
f_{ck} = Resistência característica à compressão do concreto, (MPa).

Abril de 2016
ISSN 2448-1459



Figura 5: Leitura de velocidade de propagação da onda ultrassônica

2.2.3 Resistividade elétrica

Os ensaios de resistividade elétrica foram executados com sonda Wenner de quatro pontos nos 16 pilares. Para tanto, o aparelho foi posicionado sobre a superfície previamente saturada na região do pé do pilar, uma vez que fornece resultados mais eficientes. A Figura 6 mostra a leitura de resistividade em um dos pilares ensaiados:



Figura 6: Medição da resistividade do concreto

2.2.4. Profundidade de carbonatação

Seguindo o mesmo critério descrito no ensaio anterior, as medições de profundidade de carbonatação foram realizadas nos pés dos pilares ensaiados. Foi feita a demarcação da região de remoção do concreto com o uso de serra circular, seguida da remoção com marreta e talhadeira até que se alcançasse a profundidade da armadura longitudinal. A poeira resultante desse processo foi removida com pincel e, em sequência, foi aspergida a solução de fenolftaleína em álcool sobre a região então exposta. Foram feitas três medidas para obtenção da espessura média carbonatada juntamente com a medição do cobrimento de concreto sobre a armadura.

2.3. Modelagem

A modelagem estrutural foi feita com o SAP 2000, software norte-americano baseado no método dos elementos finitos. Dessa forma, ressalta-se que o programa não trabalha com todas as diretrizes da ABNT, ou seja, algumas definições foram atribuídas conforme o desenvolvimento da modelagem.

O projeto possui diversas peculiaridades e, por esse motivo, muitas das seções não foram moldadas de acordo com modelos pré-estabelecidos pelo programa, mas sim com seções genéricas. Uma característica do projeto que exigiu o uso dessa função é que, além do formato singular, somente na opção de seção genérica é possível moldar seções com armaduras de diferentes diâmetros. Muitas vezes, as armaduras superior, intermediária e inferior não possuem o mesmo tamanho e, em outros casos, sua quantidade também é divergente. Além disso, encontram-se classes distintas de armaduras em uma mesma seção (no caso, CA-50 e CA-60), o que é possível analisar apenas usando o recurso de modelagem genérica do programa.

Isso posto, destaca-se que a curva tensão-deformação do CA-60 foi outro aspecto acrescentado ao programa, uma vez que o software disponibiliza a curva para o CA-50, porém a outra classe não possui curva estabelecida. Entretanto, com os parâmetros disponíveis pelo SAP para caracterização, não foi possível igualar a curva perfeitamente com a realidade, em especial o trecho entre fy e fst. Porém, por o trabalho ser pautado no regime elástico linear (até fy), o referido trecho está caracterizado corretamente de acordo com a NBR 7480:2007 [18], podendo a curva ser usada de forma satisfatória.

Em relação ao balanço, seu trecho inicial (engastado na estrutura) é feito em laje maciça, com dimensões (1,20 x 9,40 x 0,14) m e, depois disso, tem início a laje mista. Por representar maior área, possuir menos barras de aço e apresentar mais manifestações patológicas na inspeção visual, a laje mista foi adotada como solução para todo o balanço, uma vez que o SAP 2000 não permitiu uma solução que comportasse ambas as características da laje.

Feitas as considerações descritas, foi possível estabelecer as cargas. Seguindo a NBR 6120:1980, a resistência de projeto para uso de edificações como escritório deve ser de 200 kgf/m². Na modelagem foi utilizado um coeficiente de segurança de 20% da carga, visto que podem haver cargas excepcionais na estrutura, como, por exemplo, maquinários em caso de recuperação. A favor da segurança, o balanço e a cobertura central com espaços abertos também foram analisados com a aplicação dessa carga, considerando que, em alguma possível interferência na obra, esse carregamento possa ser atingido.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Com a realização dos ensaios descritos anteriormente e finalizada a modelagem computacional do edifício, foi feita a análise dos dados obtidos e posterior interpretação de valores para avaliação das condições estruturais do esqueleto. Dessa forma, a seguir estão apresentadas as discussões acerca dos resultados encontrados.

3.1 Esclerometria e Ultrassom

Tabela 1 - Resultados de esclerometria e ultrassom

ESCLEROMETRIA				ULTRASSOM				
Pavimento	Pilar	Média do índice esclerométrico	f_{ck} (MPa)	Pavimento	Pilar	Velocidade (m/s)	E_d (GPa)	f_{ck} (MPa)
1	1	58,8	46,58	1	1	3871	32,37	33,41
	4	49,2	29,38		4	4010	34,73	38,47
	6	44,3	23,23		6	3997	34,51	37,97
	7	46,9	26,31		7	3918	33,16	35,06
	10	63,8	59,22		10	4230	38,65	47,63
	11	58,1	45,04		11	4146	37,13	43,96
	13	68	72,45		13	4181	37,76	45,46
	16	55,1	39		16	4421	42,22	56,83
2	1	67,3	70,05	2	1	4045	35,34	39,83
	4	56	40,73		4	3940	33,53	35,85
	6	53,9	36,82		6	3915	33,11	34,95
	7	48,8	28,83		7	3956	33,80	36,44
	10	55,8	40,34		10	3768	30,67	29,99
	11	56,7	42,12		11	3840	31,85	32,35
	13	49,3	29,53		13	3701	29,59	27,91
	16	43,8	22,67		16	3660	28,93	26,70

Observa-se com os ensaios de esclerometria que os resultados apresentaram excessiva variabilidade. Logo, variáveis, como por exemplo, fissuração superficial, material desgastado e carbonatação podem ter influenciados nos testes, haja vista que as leituras mais elevadas foram dos pilares externos, expostos a intemperes e a maior incidência de gás

carbônico [19]. Contudo, o mesmo não ocorrera na avaliação pelo método do ultrassom, isto porque o ensaio abrange de forma mais ampla os elementos estruturais, portanto, menos sensíveis a variações superficiais.

Em contrapartida, variações nos resultados de resistência a partir dos ensaios de ultrassom, mesmo que em menor escala que a esclerometria, devem ser analisados criteriosamente, haja vista que com a obtenção de valores de módulo de elasticidade dinâmico têm-se um parâmetro quanto à deformabilidade dos elementos. Ou seja, elementos com valores menores de E_d tendem a apresentar maiores deformações, logo, tal comportamento distinto entre pilares, pode acarretar esforços e sobrecargas não previstas em projeto.

3.2. Resistividade elétrica

CEB 192 *apud* Cascudo [20] determina intervalos de correlação da probabilidade de corrosão de acordo com a resistividade medida, os quais são apresentados na tabela a seguir (Tabela 2):

Tabela 2 - Resultados do ensaio de resistividade elétrica

Resistividade do concreto (kΩ.cm)	Probabilidade de corrosão
$\rho > 20$	Desprezível
$10 < \rho < 20$	Baixa
$5 < \rho < 10$	Alta
$\rho < 5$	Muito alta

Medeiros [21] destaca que, uma vez que os valores apresentados por Cascudo foram obtidos em laboratório, é recomendável maior conservadorismo ao se descartar a possibilidade de corrosão quando os ensaios forem executados *in loco*. Sendo assim, pode-se observar com a Tabela 3 que o pilar 7, no primeiro pavimento, apresenta alta possibilidade de corrosão.

Tabela 3: Resultados de resistividade elétrica

Resistividade Elétrica					
Pavimento	Pilar	kΩ.cm	Pavimento	Pilar	kΩ.cm
1° PAV	P16	94	2° PAV	P16	47,9
	P13	49		P13	186,3
	P11	23,4		P11	436
	P10	22,8		P10	378
	P06	74		P06	436
	P07	9,9		P07	386
	P01	212		P01	81,4
	P04	312		P04	85,6

Observa-se também, que em sua totalidade a edificação apresentou resistividade elétrica menor para pilares mensurados no primeiro pavimento, logo, indicando maior condutividade. Nada obstante, este resultado mostra que a proximidade com o solo traz um maior risco quanto a corrosão de armaduras, e isto está ligado a constância de umidade presente na região, a partir, essencialmente, à sucção capilar do concreto.

3.3 Profundidade de carbonatação

O ensaio de carbonatação, como citado anteriormente, foi realizado em dois pilares da estrutura, fazendo-se a remoção do concreto até a armadura longitudinal e aspersão de fenolftaleína. O pilar 16 apresentou coloração vermelho carmim, com pequena espessura carbonatada (Tabela 4), ou seja, a alcalinidade do concreto ainda está alta suficiente para proteção da armadura (Figura 7a). Entretanto, o pilar 7 apresentou uma frente de carbonatação avançada, percebida pela manutenção da transparência da fenolftaleína aspergida (Figura 7b). A baixa alcalinidade do concreto que cobre a armadura deve-se, principalmente, à idade da estrutura, isto é, ao tempo de exposição da peça sem proteção. A redução do pH do concreto no elemento pode ocasionar despassivação da armadura, o que permitiria o início da sua corrosão, podendo acarretar deficiências estruturais.



Figura 7: Resultados do ensaio de carbonatação - (a) Pilar 16; (b) Pilar 7.

Tabela 4: Resultados de profundidade de carbonatação

Carbonatação		
Pilar	Cobrimento (mm)	Prof. Carb (mm)
P16	31,09	8,65
P07	29,22	35,62

Se associado com os resultados de resistividade elétrica vê uma convergência de resultados, indicando, em outras palavras, um grande risco para deterioração do pilar 7 devido à corrosão de armaduras.

3.4 Modelagem

A Figura 8 mostra a deformada da estrutura, ou seja, permite observar quais elementos apresentam maior deformação:

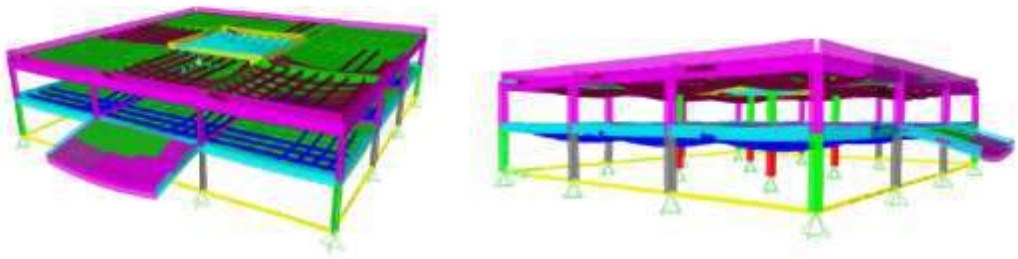

Figura 8: Deformada da estrutura

Nota-se que a estrutura apresenta grande deformação da laje nervurada, especialmente em sua região central e no balanço, o qual tem maior deslocamento na extremidade sem apoio, o que garante um comportamento já esperado dada a inspeção visual. Como justificado previamente no item “2.3 Modelagem”, nessa modelagem não foi considerada a presença de uma laje maciça, a qual aumenta a rigidez no início do balanço, ocasionando redução da deformação.

A análise da estrutura a respeito do momento fletor pode ser feita com base na Figura 9:

Abril de 2016
ISSN 2448-1459

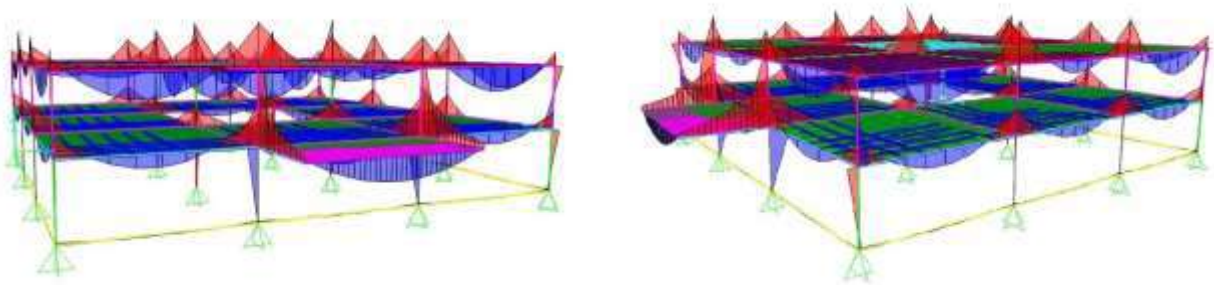

Figura 9: Diagramas de momentos fletores

Os diagramas de momentos fletores obtidos indicam a existência de um momento negativo acentuado nos pontos de encontro entre vigas e lajes com os pilares, principalmente na região central da cobertura e no balanço. Ressalta-se que, caso a porção maciça da laje no início do balanço tivesse sido considerada, haveria alteração do momento fletor.

Dadas as interpretações feitas anteriormente, é possível saber quais pontos, em caso de reforma ou reforço, necessitam de maiores cuidados, seja em projeto ou em execução.

Uma ferramenta disponibilizada pelo SAP 2000 é a análise dos esforços aos quais os elementos estão submetidos. Essa opção desenvolve a análise com base em valores de normas americanas (American Concrete Institute – ACI) e europeias (Eurocode), não brasileiras. Dessa forma, nesse caso, indica-se a análise para auxiliar ou direcionar os possíveis ensaios, ajudando na determinação de locais onde devem ser feitos, da quantidade de ensaios e de possíveis adequações em números de realizações, como, por exemplo, na esclerometria, em que o número de golpes foi alterado do valor normativo 12 para 16.

A Figura 10 representa os resultados da análise estrutural reslizada com o SAP 2000:

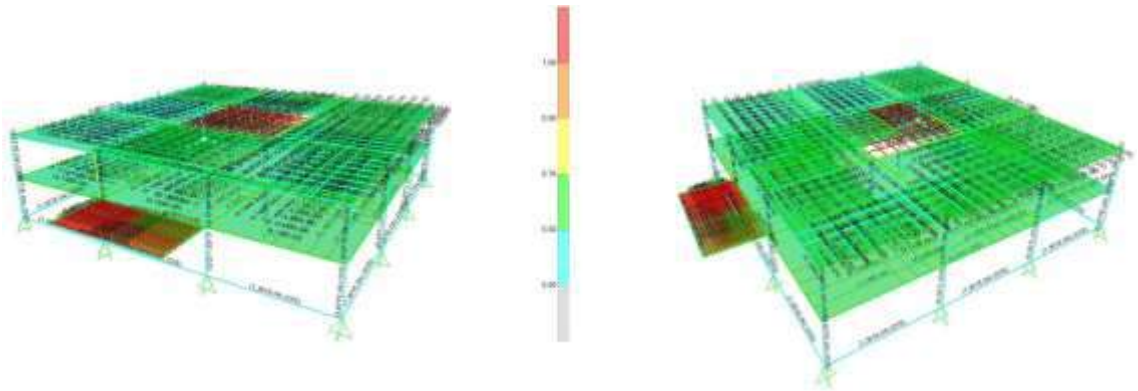

Figura 10: Análise estrutural com base em normas americanas

As cores na imagem indicam o grau de utilização dos elementos em valores percentuais. O azul é de 0 a 50%; verde de 50 a 70%; amarelo 70 a 90%; laranja 90 a 100%; e vermelho 100% ou mais. Como visto na figura, o balanço e a porção central da cobertura estão em vermelho, indicando a ruptura desses elementos. No entanto, para essa modelagem, o valor de carregamento atribuído nessas regiões está acima do projetado, visto que foi requisitado carga de escritório (200 kg/m²), como justificado no item "2.3 Modelagem". Uma alternativa para a avaliação desses elementos é processar a análise com cargas menores.

Além disso, nota-se a coloração amarela nas vigas da região central da cobertura e no pilar superior próximo ao balanço. Isso indica que esses elementos merecem atenção especial, sendo locais indicados para a realização de ensaios.

4. CONCLUSÃO

É possível ressaltar através deste estudo a importância da realização de ensaios não destrutivos na análise de qualidade do material da estrutura, tendo como finalidade indicar possíveis manifestações patológicas bem como a necessidade de

reparos e reforços para que seja retomada a construção do edifício, garantindo segurança para tal. É também evidente a contribuição da modelagem computacional de forma a avaliar a capacidade da estrutura em atender às solicitações de uso, considerando-se normas atualizadas e podendo também comparar as características mecânicas dos materiais aplicadas em projeto com as observadas em ensaios não destrutivos.

A variabilidade dos resultados nos ensaios de esclerometria mostra certa imprecisão do método de ensaio quando aplicado em campo a estruturas expostas ao ambiente, uma vez que seus resultados são sensíveis a muitas situações comuns a tais estruturas, como carbonatação, fissuração e desgaste da superfície. Por outro lado, é possível observar a menor variabilidade do ensaio de propagação de ondas de ultrassom, visto que este ensaio considera não só o concreto mais próximo à superfície, confirmando sua maior precisão quando comparado ao uso da esclerometria em estruturas expostas.

A falta de fechamento e impermeabilização é um fator contribuinte para a redução da resistividade do concreto, isso pode ser confirmado pelos valores obtidos por ensaio no pavimento térreo, os quais são geralmente inferiores que os do pavimento acima. Os pilares mais próximos à umidade proveniente do solo mostraram-se mais suscetíveis à corrosão, o que, de certa forma já era esperado.

Para este caso, é recomendável a realização de mais ensaios que indiquem a profundidade de carbonatação em outros pilares, uma vez que o resultado obtido em um dos dois pilares ensaiados aponta o alcance da frente de carbonatação à armadura. Sendo assim, faz-se necessária identificação mais detalhada dos pilares onde ocorre a manifestação para que sejam tomadas medidas de proteção contra a despassivação do aço nos elementos estruturais.

5. REFERÊNCIAS

[1] Andrade, J. J. O. *Contribuiçao à previsão de vida útil das estruturas de concreto armado atacadas pela corrosão de armaduras: iniciação por cloretos*. 277 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – UFRGS, Porto Alegre, 2001.

[2] Rehman, S. K. U. et al. Nondestructive test methods for concrete bridges: A review. *Construction and Building Materials*, vol 107, pp 58-86, 2016.

[3] Sadowski, L. Non-destructive identificatorn of pull-off adhesion between concrete layers. *Automation in Construction*, vol 57, pp 146-155, 2015.

[4] Rojas-Henao, L. et al. Rebound hammer, pulse velocity, and core tests in self-consolidating concrete. *ACI Matererials*, v. 109, n. 2, p. 235–243, 2012.

[5] Mesbah, H.A. et al. Determination of elastic properties of high-performance concrete at early ages. *ACI Materials*, v. 99, n. 1, 37–41, 2002.

[6] Souza, D. J. et al. *Viadutos localizados na região de Curitiba por métodos de ensaios não destrutíveis: esclerometria e ultrassom*. Foz do Iguaçu, 2015.

[7] Mehta, P. K.; Monteiro, P. J. M., *Concrete: Microstructure, Properties and Materials.* 3ª ed. Nova Iorque: The McGraw Hill Companies, 2005.

[8] Medeiros, M. H. F. et al., "Inspection of Buildings in Rio de Janeiro-Brazil: Proving the greater tendency of corrosion at the base of reinforced concrete columns using potential corrosion technique*", American Journal of Engineering Research*, 2013, Volume 2, Issue 4, pp 102-112.

[9] Figueiredo, E. P.; Meira, G., *Boletim técnico 6: Corrosão as armaduras das estruturas de concreto*. Mérida: Asociación Latinoamericana de Contról de Calidad, Patologia y Recuperación de la Construción, 2013.

[10] Lo, Y.; Lee, H. M. Curing effects on carbonation of concrete using a phenolphthalein indicator and Fourier-transform infrared spectroscopy. *Building and Evironment*, vol. 37, pp 507-514, 2002.

[11] Lo, T. Y. et al. Evaluation of carbonation resistance of paint coated concrete for buildings. *Construction and Building Materials*, vol. 107, pp 299-306, 2016.

[12] Khalil, E. A. B.; Anwar, M. Carbonation of ternary cementitious concrete systems containing fly ash and silica fume. *Water Science*, vol. 29, pp 36-44, 2015.

[13] Associação Brasileira de Normas Técnicas, *NBR 7584/2012* - Concreto endurecido - Avaliação da dureza superficial pelo esclerômetro de reflexão - Método de ensaio, São Paulo, 2012.

[14] Associação Brasileira de Normas Técnicas, *NBR 8802/2013* - Concreto endurecido - Determinação da velocidade de propagação de onda ultrassônica, São Paulo, 2013.

[15] Bungey, J. H. et al, *Testing of Concrete in Structures*. 4ª ed. Londres: Taylor and Francis, 2006.

Abril de 2016
ISSN 2448-1459

[16] Bartholomeu, A.; Gonçalves, R. Prediction of the module of elasticity (MOE) in beams of Eucalyptus using the longitudinal velocity of ultrasonic waves. *E-Journal of Nondestructive Testing and Ultrasonics*, v.12, p.4853-4860, 2007.
[17] Associação Brasileira de Normas Técnicas. *NBR 6118/2014* - Projeto de estruturas de concreto - Procedimento. Rio de Janeiro, 2014.
[18] Associação Brasileira de Normas Técnicas, *NBR 7480/2007* - Aço destinado a armaduras para estruturas de concreto armado – Especificações. São Paulo, 2007.
[19] Szilágyi, K. et al, "Rebound surface hardness of concrete: Introduction of an empirical constitutive model", Construction and Building Materials, 2011, Volume 25, pp 2480-2487.
[20] Cascudo, O. O controle da corrosão de armaduras em concreto: inspeção e técnicas eletroquímicas. São Paulo: Pini; Goiânia: Editora UFG, 1997.
[21] Medeiros, M. H. F., "Estudo de variáveis que influenciam nas medidas de resistividade de estruturas de concreto armado", *Revista Engenharia Civil – Universidade do Minho*, 2001, n.º 12, pp 55-64.