

## Artigo Original

# Análise da Flexão e das Manifestações Patológicas em Laje Maciça na Cidade de Foz do Iguaçu

## Flexion Analysis and Pathological Manifestations in a Massive Slab in the City of Foz do Iguaçu

Tatiane Couto<sup>1</sup> e Scarlet Karina Montilla Barrios<sup>2</sup>.

1. Engenheira Civil pelo Centro Universitário União das Américas (Uniamérica).

2. Engenheira. Mestre em Engenharia Estrutural pela Universidade de los Andes (ULA), Mérida, Venezuela. Docente Universidade Federal de Integração Latinoamericana (UNILA) dos Cursos de Arquitetura e Urbanismo; Engenharia Civil; Engenharia de Energia, em Foz de Iguaçu, PR.

*coutotattii@gmail.com e scarlet.barrios@uniamerica.br.*

### Palavras-chave

Anomalia  
Estruturas  
Laje Maciça  
Patologias

### Keyword

Anomaly  
Structures  
Massive slab  
Pathologies

**Resumo:** O presente estudo procurou fazer uma análise numérica computacional e de patologias de uma laje maciça do segundo pavimento de uma edificação comercial em Foz do Iguaçu, PR. A mesma tem uma configuração circular apresentando varios problemas. Para desenvolvimento da análise utilizou-se um levantamento das anomalias através de vistoria do local, identificação da natureza e origem das patologias, diagnóstico da situação e caracterização das patologias, e uma análise numérica por elementos finitos para propor as soluções mais adequadas ao problema da flexão da laje. As principais manifestações patológicas estão ligadas a erros de projeto, construção e manutenção inadequada, fatores que explicam os problemas precoces ocorridos na obra. Estabelece-se como necessário que a laje seja reforçada com armaduras negativas e positivas para sua utilização, devido a que a flexão é muito alta e sobrepassa o limite permitido normativamente. A solução indicada para a correção de fissuras e rachaduras nas juntas de concretagem é a injeção de resinas e argamassas epoxídicas e uso de pintura anticorrosiva a base de zinco.

**Abstract:** The present study sought to perform a computational and pathological numerical analysis of a massive second floor slab of a commercial building in Foz do Iguaçu, PR. It has a circular configuration presenting several problems. To develop the analysis we used an anomaly survey through site survey, identification of the nature and origin of the pathologies, diagnosis of the situation and characterization of the pathologies, and a numerical analysis by fine elements to propose the most appropriate solutions to the flexion problem. of the slab. The main pathological manifestations are linked to design errors, inadequate construction and maintenance, factors that explain the early problems that occurred in the work. It is established as necessary that the slab be reinforced with negative and positive reinforcement for its use, since the bending is very high and exceeds the limit allowed normatively. The solution indicated for the correction of cracks and cracks in the joints is the injection of epoxy resins and mortars and the use of anti-corrosion paint based on zinc.

Artigo recebido em: 24.05.2019

Aprovado para publicação em: 07.08.2019

## INTRODUÇÃO

Uma das áreas da engenharia civil mais importantes é a de estruturas, levando em conta um conjunto de conceitos que podem ser aplicados em projetos estruturais como um todo ou em seus elementos separadamente. Mas, existem uma série de limitações por diversos fatores como: falhas involuntárias, imperícia, deterioração, irresponsabilidade e acidentes de natureza humana. Diante desse cenário algumas estruturas podem desenvolver manifestações patológicas e ter o seu desempenho insatisfatório. Sabe-se que inicialmente deve

ser feito um levantamento das patologias existentes a fim de se analisar as possíveis causas e assim poder compor o diagnóstico do problema e eleger a terapia mais adequada para cada caso. (Dorea, et al, 2010)

Um dos elementos de grande importância numa edificação é a laje, ou placa, como é estudada e descrita pela NBR (6118/2014). Tratadas como elementos de superfície plana geralmente horizontal e que estão sujeitas a ações normais. Essas placas podem sofrer diversos tipos de solicitações, como solicitação do momento fletor, que pode ocorrer dependendo da sua espessura em relação às outras dimensões ou mesmo placas finas com pequenas deflexões em sua estrutura, se não bem projetado, isso pode agravar se sua estrutura tiver indícios de manifestações patológicas.

Dentro deste contexto, esse estudo busca fazer uma análise sobre as condições de manifestações patológicas encontradas nos elementos estruturais e componentes de uma estrutura de concreto armado, construída em dois pavimentos e destinada a escritórios administrativos. A laje maciça estudada é do segundo pavimento de uma edificação, tendo ela metragem de  $612,70 \text{ m}^2$ , e tendo seu formato especial, sendo circular, com uma abertura circular no seu centro com raio de  $2,50 \text{ m}^2$ .

O objetivo do presente estudo consiste em analisar a flexão, identificar as manifestações patológicas, possível diagnóstico e prever tratamento para as mesmas. O foco da análise foi restrito aos principais pontos observados: (a) Descrever e diagnosticar os conceitos de patologias e as anomalias estruturais encontradas na laje; (b) Conhecer as normas e procedimentos aplicados às patologias encontradas; (c) Digitalizar os dados retirados da estrutura com a finalidade de gerar modelos computacionais; (d) Identificar as origens das patologias encontradas; (e) Fazer uma proposta de reparação da laje tanto para a flexão apresentada como para as patologias.

Inicia-se o trabalho com o referencial teórico apresentando as principais anomalias encontradas nas estruturas. Em seguida, mostra-se a metodologia utilizada. Posteriormente contextualiza-se o objeto de estudo e os casos analisados, apresenta-se a análise e, por fim, as conclusões e considerações finais.

## REFERENCIAL TEÓRICO

### NORMAS VIGENTES DE CONCRETO ARMADO

A principal norma utilizada para projetos e dimensionamento de estruturas em concreto armado é a ABNT NBR 6118 que teve sua última alteração em 2014. Ela se resultou de várias alterações a partir da NB1, que teve sua última atualização em 1981, e que hoje se resulta na NBR 6118 (PORTO e BOMJARDIM, 2015).

A NBR (6118/2014) passou por um longo processo de revisão, trata somente de projeto das estruturas em concreto armado e Protendido, tem que ser levado em conta a NBR 14931, que trata da execução das estruturas de concreto armado quando se projeta e executa obras. A NBR 6118 tem objetivos os requisitos exigentes para projeto em estruturas de concreto, mas tendo exceção aquelas em que se empreguem concreto leve, pesado ou outros especiais.

Algumas normas que pode ser consultadas para a melhor elaboração e desempenhos das estruturas.

NBR 6120 – Cargas para o cálculo de estruturas de edificações – Procedimento

NBR 6122 – Projeto e execução de fundações

NBR 7191 – Execução de desenhos para obras de concreto simples ou armado

NBR 7480 – Aço destinado a armaduras para estruturas de concreto armado – Especificação

NBR 8681 – Ações e segurança nas estruturas – Procedimento Fonte: Adaptada de Ambrósio, 2004.

Outras normas também importantes e que se deixa citado na NBR 6118/2014, que se não houver definições e procedimentos adequados a sua obra pode se ser estudo das estruturas de concreto em normas estrangeiras: MC-90, do COMITÉ EURO-INTERNATIONAL DU BÉTON, o Eurocode 2, do EUROPEAN COMMITTEE STANDARDIZATION, e o ACI 318, do AMERICAN CONCRETE INSTITUTE.

## PATOLOGIA

Entende-se por patologia do concreto a ciência que estuda os sintomas, causas e origens dos problemas patológicos encontrados nas estruturas de concreto armado. E de extrema importância se utilizar a obra, para o que foi previamente projetada, pois a má utilização pode agregar pequenas infiltrações até grandes problemas que podem levar a estrutura ao colapso (HELENE, 1992).

De acordo com Souza e Thomaz (1989), eles conceituam a patologia na construção, como um novo campo da Engenharia das Estruturas que se ocupa do estudo das origens, formas de manifestações patológicas e conseqüentemente o modo de ocorrência das falhas e dos sistemas de degradação das estruturas.

Podemos definir as manifestações patológicas presentes nas estruturas como:

a) **Rachadura e Fissuras:** Segundo Lottermann (2013), as rachaduras têm as mesmas características das trincas em relação à separação entre partes, mas são aberturas grandes, profundas e acentuadas, devido à falta de resistência de um determinado material às tensões e influências internas e externas a ele aplicadas. São bastante pronunciadas e facilmente observáveis devido à amplitude da separação das partes. Segue algumas possíveis origens de fissuras em estruturas:

**Quadro 1.** Origens de fissuras em estruturas Estratégias de busca

Tipos De Fissuras	Peças Mais Sujeitas	Configurações Típicas
Recalque Fundação	Paredes / Vigas	Inclinada, se afastamento da região que menos recalcou; abertura variável.
Cisalhamento	Qualquer Elemento	Mais inclinados junto ao apoio, verticalizando-se em direção ao meio do vão; abertura variável, desaparecendo ao atingir a região comprimida da peça.
Flexão	Qualquer elemento; Lajes, junto aos cantos.	Mais concentradas junto às regiões de máximo momento fletor e aumento gradativamente o espaçamento, ao se afastarem dessa região; abertura variável, desaparecendo ao atingirem a região comprimida; diagonal, formando um triângulo aproximadamente isósceles com os cantos.
Tração	Tracionado longitudinalmente	Perpendiculares à direção da carga de tração, seccionando a seção transversal; → mais fechadas junto às armaduras.
Punção	Lajes / Paredes, cargas perpendiculares a plano.	Tronco crônicas, contornando a carga concentrada, em forma de “teia de aranha”, em planta.

Fonte: Adaptada de Ambrósio, 2004.

b) **Manchas, eflorescência e corrosão da armadura:** Os problemas dentro da construção civil causados por umidade podem estar relacionados a até 60% das manifestações patológicas encontradas em edificações em fase de uso e operação e podem levar a prejuízos de caráter funcional, de desempenho, estéticos e estruturais podendo representar risco à segurança e à saúde dos usuários (SOUZA, 2008).

Eflorescências são formações de sais que aparecem sob o aspecto de manchas de cor branca e que foram transportados pela umidade. Muito comum em paredes de tijolos. As eflorescências podem alterar a aparência da superfície sobre a qual se depositam e em determinados casos seus sais constituintes podem ser agressivos, causando desagregação profunda da estrutura. (BAUER, 2000).

Marcelli (2007) afirma que a corrosão da armadura consiste em um processo eletroquímico, que pode ter sua eficiência aumentada por alguns fatores como: agentes agressivos externos e internos, que foram adicionados ao concreto, ou ainda que fossem gerados pelo ambiente.

c) **Deterioração do concreto armado:** Segundo Ambrósio (2004), a abrasão consiste no desprendimento do material superficial devido ao arraste, fricção ou atrito causado pela passagem de pessoas, veículos, ou até mesmo por partículas carregadas pelo vento. Tendo ocorrência com maior frequência em lugares de intensa circulação de pessoas e grande tráfego.

d) **Carbonatação, desagregação e perda de aderência:** Segundo Trindade (2015), a carbonização consiste na redução do PH da pasta de cimento do concreto que geralmente tem valores entre 12 e 14, o mesmo possui alta alcalinidade devida principalmente ao hidróxido de cálcio que é produto resultante das reações de hidratação do cimento.

Souza e Thomaz (1998) entendem a desagregação do concreto, como a separação física do mesmo em fatias, de modo que a estrutura acaba por perder a capacidade resistente a esforços na região desagregada.

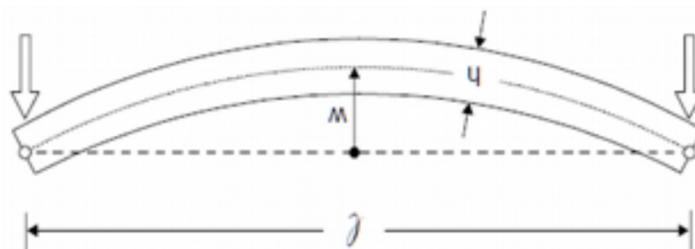
Segundo Souza e Thomaz (1998), esse tipo de fissura que se forma devido ao assentamento do concreto, acarreta o efeito parede, que consiste em um vazio que é formado na parte inferior da barra de aço, assim causando uma perda de aderência e fissuras. No caso das barras estarem próximas e em grande número, poderá haver uma interação entre as fissuras, gerando um quadro mais grave. Pode ocorrer entre a armação e o concreto ou entre concretos. A perda de aderência entre o concreto e o aço ocorre geralmente nos casos de oxidação ou dilatação da ferragem.

e) **Infiltração de água:** Problemas de umidade em edificações encontram-se manchas de umidade, corrosão, bolor, fungos, algas, líquidos, eflorescência, descolamento de revestimento, friabilidade da argamassa por dissolução de compostos com propriedades cimentasse-as, fissuras e mudanças de coloração dos revestimentos (BAUER, 2000).

## CONSIDERAÇÕES SOBRE PLACAS

Placas são elementos estruturais que tem uma de suas dimensões, denominadas como espessura, muito menor que suas duas outras (a largura e o comprimento). Podem-se separar as placas em grupos sendo eles, placas finas com poucas deflexões, placas finas com grandes deflexões e as placas espessas. (TIMOSHENKO, WOINOWSKY-KRIEGER, 1959).

Placas finas com pouca deflexão: Uma placa é considerada fina quando a espessura da mesma for inferior a 10% do menor vão. Quando se exceder esse limite, deve-se considerar as deformações por cisalhamento, que produzirão o empenamento da seção transversal. (TIMOSHENKO, WOINOWSKY-KRIEGER, 1959).

**Figura 1.** Deflexão em placas

Placas finas com grandes deflexões: são definidas como deslocamento normal ao plano da placa inferior a 30% da espessura da placa, ou seja,  $w \leq 0,3 h$  altura do deslocamento pelo carregamento da placa.

Placas espessas: placas espessas e cascas (geometria não plana) tem se estado triplo de tensões, devendo-se considerar o empenamento da seção transversal. Habitualmente utilizadas nas edificações residenciais e comerciais (espessura inferior a 20 cm e vão a torno de 6 m), está inserido na formulação de placas finas sujeitas a pequenos deslocamentos.

### PLACAS BASEADAS NA TEORIA DE REISSNER-MINDLIN

De acordo com Oñate (2013), a teoria de Reissner-Mindlin apresenta vantagens em relação à teoria de Kirchhoff na aplicação do método dos elementos finitos. Enquanto que pela teoria de Kirchhoff, existe grande dificuldade para encontrar funções de forma que satisfaçam as condições de continuidade requeridas pelas flechas e rotações dos elementos; pela teoria de Reissner-Mindlin, as restrições são reduzidas, permitindo a utilização de funções de forma de classe  $C0$ , o que elimina os efeitos de não conformidade. A Teoria de Reissner-Mindlin considera que os deslocamentos transversais são compostos pelas deformações por flexão e por cisalhamento, e que os efeitos da carga axial normal podem ser analisados separadamente. Suas principais hipóteses são:

O material da placa é elástico linear.

O deslocamento vertical para os pontos do plano médio não depende de  $z$ :  $u_z(x, y, z) = w(x, y)$ .

Os pontos do plano médio só sofrem deslocamento vertical:  $u_x(x, y, 0) = 0$ ,  $u_y(x, y, 0) = 0$ .

A tensão perpendicular ao plano médio anula-se:  $\sigma_{zz} = 0$ .

Campo de deslocamento generalizado pode-se definir como:

$$\{w\}^t = (w_1, w_2, w_3), \{q\}^t = (q_1, q_2, 0) \quad (1)$$

$$w_{(1)} = -z \theta_x(x, y) = -z \frac{\partial w(x, y)}{\partial x}; \quad w_{(2)} = -z \theta_y(x, y) = -z \frac{\partial w(x, y)}{\partial y}; \quad w_{(3)} = w(x, y) \quad (2)$$

Tensor de deslocamentos:

$$\varepsilon_{11}^n = \frac{\partial w_1}{\partial x_1} \quad \varepsilon_{22}^n = \frac{\partial w_2}{\partial x_2} \quad 2\varepsilon_{12}^n = \frac{\partial w_1}{\partial x_2} + \frac{\partial w_2}{\partial x_1} \quad (3)$$

Definindo a curvatura como:

$$\chi_{11} = \frac{\partial \theta_2}{\partial x_1}; \quad \chi_{22} = -\frac{\partial \theta_1}{\partial x_2}; \quad 2\chi_{12} = \frac{\partial \theta_2}{\partial x_2} - \frac{\partial \theta_1}{\partial x_1} \quad (4)$$

Tensor de deformações angulares:

$$\gamma_{23} = \frac{\partial \omega_3}{\partial x_2} - \theta_1; \quad \gamma_{13} = \frac{\partial \omega_3}{\partial x_1} + \theta_2 \quad (5)$$

Princípio dos trabalhos virtuais

O princípio dos trabalhos virtuais estipula que o trabalho virtual das forças externas equivale ao trabalho virtual das forças internas.

$$T_{def}^* = T_{ext}^* \quad \forall \quad \{\omega^*\}, \{\theta^*\} c.a.0 \quad (6)$$

$$T_{ext}^* = \iint_A [\omega_3^* q_3^d] dA + \int_C [\omega_3^* Q_3^d + \bar{\theta}^* \bar{M}^d] dc + \omega_3^*(\bar{x}_i) P_3^d \quad (7)$$

$$T_{def}^* = \iiint_V \{\varepsilon^*\}^t \{\sigma\} dv = \iint_A [\{\varepsilon_n^*\}^t \{N\} + \{\chi^*\}^t \{M\} + \{\gamma^*\}^t \{V\}] dA \quad (8)$$

Tensor de fluxo axial

$$N_{11}(x_1, x_2) = \int_{-\varepsilon/2}^{\varepsilon/2} \sigma_{11} dx_3; \quad N_{22}(x_1, x_2) = \int_{-\varepsilon/2}^{\varepsilon/2} \sigma_{22} dx_3; \quad N_{12}(x_1, x_2) = \int_{-\varepsilon/2}^{\varepsilon/2} \sigma_{12} dx_3 \quad (9)$$

Tensor de fluxo de momentos

$$M_{11}(x_1, x_2) = \int_{-\varepsilon/2}^{\varepsilon/2} x_3 \sigma_{11} dx_3; \quad M_{22}(x_1, x_2) = \int_{-\varepsilon/2}^{\varepsilon/2} x_3 \sigma_{22} dx_3; \quad M_{12}(x_1, x_2) = \int_{-\varepsilon/2}^{\varepsilon/2} x_3 \sigma_{12} dx_3 \quad (10)$$

Tensor de fluxo de cisalhamento:

$$V_{13}(x_1, x_2) = \int_{-\varepsilon/2}^{\varepsilon/2} \sigma_{13} dx_3; \quad V_{23}(x_1, x_2) = \int_{-\varepsilon/2}^{\varepsilon/2} \sigma_{23} dx_3 \quad (11)$$

Lei constitutiva:

$$\sigma_{ij} = 2G\varepsilon_{ij} + \lambda\varepsilon_{kk}\delta_{ij}; \quad 2G = \frac{E}{1+\nu}; \quad \lambda = \frac{\nu E}{(1+\nu)(1-2\nu)} \quad (12)$$

Para uma placa homogênea e elástica isotrópica

$$\{V\} = [H_\nu] \{\gamma\}; \quad [H_\nu] = \frac{Ee}{2(1-\nu^2)} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (13)$$

## PLACAS BASEADAS NA TEORIA DE KIRCHHOFF

A Teoria de Kirchoff, também chamada de Teoria Clássica, admite que, na composição dos deslocamentos transversais, apenas as deformações por flexão são consideradas, e os efeitos da carga axial normal podem ser analisados separadamente (ALVES, 2015). Não é considerada a deformação por cisalhamento.

O campo de deslocamento generalizado pode-se definir como:

$$w_{(1)} = -z \theta_x(x, y) = -Z \frac{\partial x(x, y)}{\partial y} \quad w_{(2)} = -z \theta_y(x, y) = -Z \frac{\partial x(x, y)}{\partial y} \quad w_{(3)} = w(x, y) \quad (14)$$

### HIPÓTESES ADICIONAIS:

$$\theta_1 = \frac{\partial \omega_3}{\partial x_2} \quad \theta_2 = -\frac{\partial \omega_3}{\partial x_1} \quad (15)$$

Teorema dos Trabalhos virtuais:

$$T_{def}^* = T_{ext}^* \quad \forall \quad \omega_3^* \quad c.a.0 \quad (16)$$

$$T_{def}^* = \iint_A \{\chi^*\}^t \{M\} dA \quad (17)$$

$$T_{ext}^* = \iint_A [\omega_3^* q_3^d] dA + \int_C [\omega_3^* Q_3^d - \frac{\partial \omega_3^*}{\partial x_1} M_1^d - \frac{\partial \omega_3^*}{\partial x_2} M_2^d] dc + \omega_3^*(\bar{x}_i) P_3^d \quad (18)$$

Lei constitutiva:

$$\{N\} = [H_N] \{\varepsilon^n\} \quad \{M\} = [H_M] \{\chi\} \quad (19)$$

$$M_{11} = -D \left( \frac{\partial \omega_3^2}{\partial x_1^2} + \nu \frac{\partial \omega_3^2}{\partial x_2^2} \right) \quad M_{22} = -D \left( \frac{\partial \omega_3^2}{\partial x_2^2} + \nu \frac{\partial \omega_3^2}{\partial x_1^2} \right) \quad M_{12} = -D(1-\nu) \frac{\partial \omega_3^2}{\partial x_1 \partial x_2} \quad (20)$$

Placas circulares axisimétricas:

$$\nabla^4 \omega_z = \frac{q_z^d}{D} \quad (21)$$

$$\frac{d^4 \omega_z}{dr^4} + \frac{2}{r} \frac{d^3 \omega_z}{dr^3} - \frac{1}{r^2} \frac{d^2 \omega_z}{dr^2} + \frac{1}{r^3} \frac{d \omega_z}{dr} = \frac{q_z^d}{D} \quad (22)$$

$$M_r = -D \left( \frac{d^2 \omega_3}{dr^2} + \frac{\nu}{r} \frac{d \omega_3}{dr} \right) \quad M_{\theta\theta} = -D \left( \frac{1}{r} \frac{d \omega_3}{dr} + \nu \frac{d^2 \omega_3}{dr^2} \right) \quad V_{rz} = \frac{\partial M_r}{\partial r} + \frac{1}{r} (M_{rr} - M_{\theta\theta}) \quad M_{\theta r} = 0 \quad (23)$$

$$V_{\theta z} = 0$$

## ELEMENTOS ISOPARAMÉTRICOS

Neste trabalho foram utilizados elementos finitos. É importante notar que, devido à utilização da teoria de Mindlin, apenas as funções de interpolação precisam ser contínuas entre os elementos. Portanto, funções de continuidade  $C^0$  podem ser utilizadas. Simplificando bastante a formulação do MEF.

Na formulação isoparamétrica os deslocamentos dentro do elemento finito são interpolados independentemente a partir dos deslocamentos nodais, os elementos possuem 5 graus de liberdade por nó, que são os deslocamentos transversais  $u$ ,  $v$  e  $w$  e as rotações  $q_x$  e  $q_y$ .

Assim,

$$u = \sum_{i=1}^n N_i u_i \quad v = \sum_{i=1}^n N_i v_i \quad w = \sum_{i=1}^n N_i w_i \quad \theta_x = \sum_{i=1}^n N_i \theta_{x_i} \quad \theta_y = \sum_{i=1}^n N_i \theta_{y_i} \quad (24)$$

Onde  $n$  é o número de nós e  $N_i$  são as funções de forma (interpolação) do elemento.

A solução do sistema é obtida pelo método de Gauss consiste em transformar um sistema de equações em outro equivalente para que seja passado.

## METODOLOGIA

O presente estudo pretende apresentar os procedimentos, ferramentas e estratégias metodológicas de estudo, os instrumentos de coleta e de análise de dados, assim como é oferecida uma visão geral do desenvolvimento. Foi realizada uma análise em uma laje maciça de edificação comercial em Foz do Iguaçu, PR. De acordo com Yin (2001), o estudo de caso é uma pesquisa detalhada que estuda um fenômeno dentro do seu contexto real, a qual se fundamenta em fontes de evidências para que favoreçam o desenvolvimento das suposições teóricas conduzindo-as para a coleta e análise de dados e que para se realizar um estudo de caso de qualidade são fundamentais.

Dentro deste contexto, as delimitações do estudo foram uma análise sobre as condições de manifestações patológicas encontrada nos elementos estruturais e componentes de uma estrutura de concreto armado, construída em dois pavimentos e destinada a administrativo. A laje maciça estudada é do segundo pavimento de uma edificação, tendo ela metragem de 612,70 m<sup>2</sup>, e tendo seu formato especial, sendo circular, com uma abertura vazia no seu centro com raio de 2,50 m<sup>2</sup>.

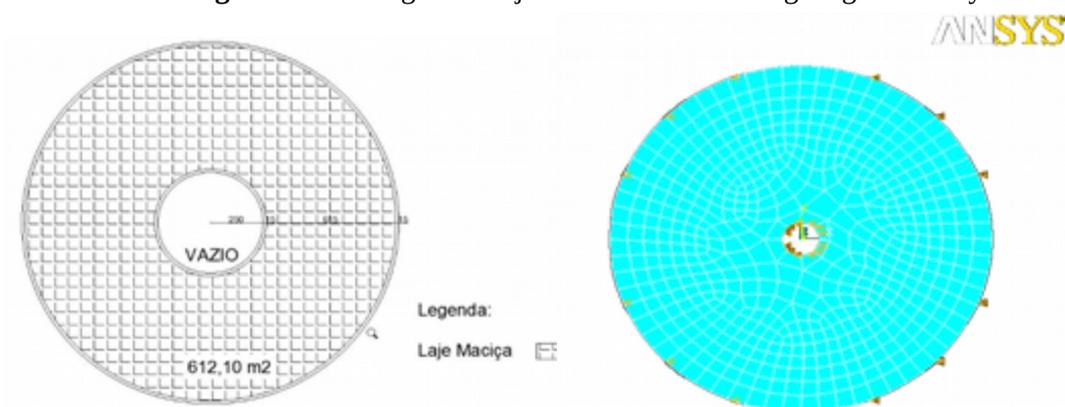
A metodologia adotada para desenvolvimento do estudo é composta por várias etapas, na primeira etapa define-se analisar e identificar as manifestações patológicas, na segunda etapa diagnosticar as patologias e fazer uma análise numérica e computacional do problema, e na terceira etapa apresentar uma solução com a finalidade de reparar as manifestações patológicas.

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

A estrutura em análise é uma laje em concreto armado do segundo pavimento de uma edificação, no município de Foz do Iguaçu, Paraná. A laje tem dimensões de 612,70 m<sup>2</sup>, sendo circular e tendo o formato especial, com uma abertura vazia no seu centro com raio de 2,50 m<sup>2</sup>. Se realizou uma modelagem computacional

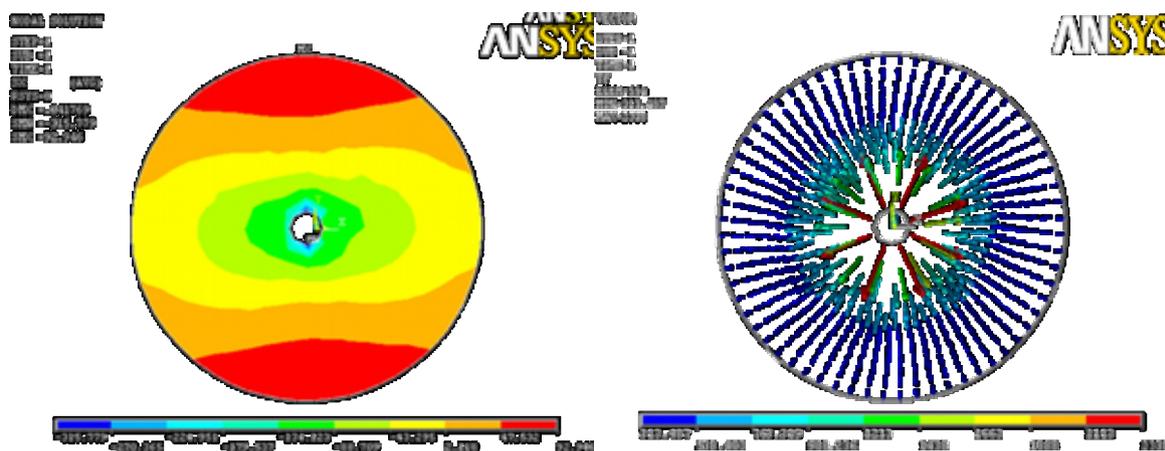
do software ANSYS 19.0, um programa de análise por elementos finitos que permite obter os momentos, cortante e forças normais e flecha, atuantes na estrutura e base para a análise posterior.

**Figura 2.** Modelagem da laje em estudo – Modelagem grelha Ansys.



A partir de uma visita procurou-se saber como a estrutura trabalha para poder entender o que levou a estrutura a estar com anomalias aparentes se nunca foi acabada e nem utilizada para qualquer fim.

**Figura 3.** Deformação na laje e Ações aplicadas na laje



Para realizar um pré-dimensionamento da laje, para se verificar se a placa se encaixa nas normas. Realizou-se cálculo dos momentos da laje. Se dando pela fórmula 20, 21 e 24:

**Quadros 2.** Dados de cargas da laje

Carga permanente + Peso próprio:	$g = 1,0 * 1,3 + 0,35m * 20 \text{ kN/m}^3 = 8,3\text{kN/m}^2$
Carga acidental	1, kN/m <sup>2</sup>
Concreto C20 fck:	20Mpa
Coefficiente de Poisson	20
Modulo de elasticidade:	21x10 KN/m

Momentos fletores nas lajes

$$M_r = \frac{q}{16} * (3 + \nu) + (a^2 - r^2) = \frac{78,78KN}{m}$$

$$M_t = \frac{q}{16} * [a^2 + (3 + \nu) - r^2 * (1 + 3 * \nu)] = -144,67KN/m \quad (24)$$

$\nu$  – coeficiente de Poisson

A – raio do círculo que contorna a laje

Momento máximo, no centro é dado por:

$$M_r = M_t = \nu * q * a^2 = \frac{q * l^2}{20} = 33,24 KN/m \quad (25)$$

Onde L é o diâmetro da laje.

Para lajes circulares a flecha é dada por:

$$f_{m\acute{a}x} = \frac{(5+\nu)q*a^2}{64(1+\nu)*D} = 10 cm \quad (26)$$

Onde D é o coeficiente de rigidez da laje:

$$D = \frac{E * d^3}{12(1 - \nu^2)} = 1215,91 \quad (27)$$

De acordo com a NBR (6118/2014), a laje ultrapassa a flecha recomendado para suas dimensões.

$$f_{limite} = \frac{L}{250} = 2,4 cm \quad (26)$$

O resultado obtido da modelagem e do cálculo, obteve-se que a flecha máxima real na estrutura e de 10 cm, e a flecha limíte que poderia a mesma ter e de 2,4 cm ( $f_{m\acute{a}x} = 10 cm > f_{limite} = 2,4 cm$ ), podemos dizer que a laje não cumpre os parâmetros de flexão, pelo qual a mesma está interdita.

## MANIFESTAÇÕES DAS PATOLOGIAS

Com o intuito de identificar as manifestações patológicas, adotou-se como metodologia a inspeção visual, a qual procurou detectar as causas intrínsecas e extrínsecas aos processos deterioração dos materiais. Na visita encontrou-se:

**Fissuras na laje:** Diversas fissuras encontradas em toda a laje, estão todas em direções nas estruturas

As fissuras estão localizadas tanto no acesso para o pavimento, como nas proximidades da junção. O desconforto é sentido. A deterioração da laje no desempenho de alguns elementos do edifício, afetam diretamente a finalidade do edifício e o bem-estar de seus ocupantes (SERAFINI R, et al, 2016).

**Possíveis causas:** As fissuras na laje podem ser por na falha na montagem das armaduras da estrutura, por erro de calculo e a flecha da laje esteja fora dos limites de segurança, por falta de cobertura de concreto

suficiente nas armaduras positiva e negativa, armadura negativa pode estar muito próxima à linha neutra e não ter o espaçamento esperado, as fissuras encontradas próximas à junção do pilar a laje podem ser pela sollicitação do momento fletor, por conta do vão em balanço superior a 5 m.

**Proposta de Reparação:** Aumentar a secção. Colocar perfis em forma de cruz na cabeça do pilar. Reforçar colocando a armadura necessária. Preenchimento das fissuras com argamassa aditivada. Um dos produtos recomendados e Sikadur®-43 é um adesivo estrutural de base epóxi, de baixa viscosidade, formando uma argamassa sintética para reparos em pisos e estruturas de concreto.

**Rachaduras:** As rachaduras encontradas estão localizadas em toda a extensão da junção da laje. A uma separação visível e uma inclinação que pode ser sentida quando em pé na estrutura. O desnível é de 10 cm, não se tem dados anteriores para se ter comparação. Rachaduras são devidos a uma deformação causada pela carga mecânica ou ambiental em um pré-esforço ou peça de concreto armado, neste caso e compressão por flexão (um estado crítico de colapso frágil) (Mascia, et al 2011).

**Possíveis causas:** As rachaduras localizadas próximas a junção podem ser decorrentes da falha na concretagem, por não ter aderência na junta de concretagem ou possivelmente ser sido concretado em datas diferentes.

**Proposta de Reparação:** Aumentar a secção. Colocar perfis em forma de cruz na cabeça do pilar. Reforçar colocando a armadura necessária. Selar as fissuras com resina epoxi à pressão. Se se tiver desprendido o betão e se estiverem os varões à vista, reparar com argamassa epoxi. Reparo e recomposição com argamassas da linha SikaTop.

**Deterioração do Concreto e Corrosão da armadura:** Em diversos lugares a deterioração do concreto. Em varios pontos têm corroção devido as fisuras e rachadurs. O aço dos pilares de sustentação dos 2 pavimentos está espasto ao longo da estrutura, com isso pode ter a infiltação de unidade e vinda a tem a vida util da estrututa comprometida. A corroção têm um efeito negativo sobre a estrutura tanto em compressão como em tração, já que afeita diretamente ao aço de reforço (Graeff, et al, 2009).

**Possíveis causas:** Pode ter ocorrido por está espasto a estrtututas de aço a unidade no ambiente e for falta de qualquer tratamento de impermeabilização. Pouco revestimento do aço, bitolas de aço inadequadas para a estrtutura ou a concretagem.

**Proposta de Reparação:** Colocar a armadura necessária e de forma a que trabalhe correctamente. A recuperação deve ser feita removendo o concreto solto, o óxido de ferro e a poeira aderente às barras, pintando-as com pintura anticorrosiva a base de zinco e, após bem seco, aplicando resina epóxi. Ainda no período de cura da resina deve-se aplicar argamassa de cimento e areia contra as armaduras e a cavidade do concreto, procedendo com a cura úmida da argamassa. Proteção das barras com SikaTop-Armatec 110 Epo-Cem. Recomposição do concreto danificado com SikaCem Gunitite-133. Proteção contra a formação de ânodos incipientes por impregnação com inibidor de corrosão Sika Ferrogard-903 e aplicação de pinturas das linhas Sika Conservado Sikagard.

**Carbonatação do concreto:** A laje tem diversos pontos com carbonatação do concreto aparente e é necessário fazer uma avaliação com equipamentos adequados, pois pode está agravando a atual situação da estrutura e com a correção da armadura negativa e positiva da laje. A carbonatação decresce a medida que se aumenta a resistência a compressão no concreto (Felix, et al, 2017)

**Possíveis causas:** A carbonatação pode ter diversos fatores ambientais, mais a estrutura nunca passou por qualquer tratamento de impermeabilização. Alguns pontos de infiltração de águas pluviais devido à má disposição de telhas ou furos nas chapas, o que contribui para a corrosão.

**Proposta de Reparação:** Após os trabalhos de preparação necessários, são aplicadas argamassas epoxídicas. Uma das recomendações é usar argamassas de reparo modificadas utilizando produtos Sika Mono-Top, Primer, SikaTop, SikaLatex.

**Figura 4.** Diversas patologias presentes na laje. 1.Fissura, 2.Rachadura 3. Deterioração do Concreto e bitolas de aço aparente 4. Carbonatação do concreto 5-6. Corrosão da armadura



## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Como conclusão geral podemos dizer que a laje apresenta uma flecha muito alta, pois a mesma encontra-se interdita. A flecha máxima que poderia ter a laje circular e de 2,4 cm, fazendo os cálculos e a modelagem por elementos finitos obteve-se que a mesma apresenta um valor de 10 cm superando o valor máximo permitido. O tratamento para intentar melhorar o problema de flexão, consiste em realizar ensaios de laboratório na laje para revisar se as armaduras estão de acordo com o projeto estrutural original. Uma vez obtidos esses resultados, fazer um recalculo da estrutura e propor os reforços necessários, tanto para armadura positiva como negativa, e possivelmente o aumento da seção.

Percebe-se que grande parte das manifestações patológicas analisadas na laje em questão é devido a erros de projeto, erros de execução e negligências no plano de manutenção, derivando numa degradação acelerada da estrutura e falhas de construção, pois a edificação não foi totalmente concluída. A solução indicada para a correção de fissuras e rachaduras, e o mapeamento da mesma como primeiro passo, para logo gerar um plano de reparação aplicando injeções de resina e argamassas epoxídicas, e pintura com zinco, de acordo com as normativas. Recomenda-se o constante monitoramento das fissuras, rachaduras e carbonatação encontrada, inclusive, se há o acréscimo das mesmas.

Acrescenta-se, ainda, patologias classificadas como adquiridas, que são aqueles problemas provenientes da ação de elementos externos, como a umidade. A laje maciça apresenta umidade na superfície, provocando corrosão e expansão da seção das armaduras.

Finalmente em cada etapa de reforço ou reparo é importante o acompanhamento de profissional especializado na área.

## REFERÊNCIAS

- AMBROSIO, T. **Patologia, tratamento e reforço de estruturas de concreto no metrô de São Paulo**. 128 f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Anhembi Morumbi, São Paulo, 2004.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto – Procedimento**. Rio de Janeiro, p. 221. 2014.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6120: Cargas para o cálculo de estruturas de edificações**. Rio de Janeiro, p. 5. 1980.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6122: Projeto e execução de fundações**. Rio de Janeiro, p. 91. 1986.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7191: Execução de Desenhos para Obras de Concreto**. Rio de Janeiro, p. 7. 1982.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7480: Aço Destinado a Armadura para Estruturas de Concreto**. Rio de Janeiro, p. 13. 2008.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8681: Ações e segurança nas estruturas - Procedimento**. Rio de Janeiro, p. 15. 2004b.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9575: Impermeabilização – Seleção e Projeto**. Rio de Janeiro, p. 18. 2010.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14931: Execução de estruturas de concreto - Procedimento**. Rio de Janeiro, p. 53. 2004a.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-1: Edificações Habitacionais - Desempenho – Parte 1: Requisitos gerais**. Rio de Janeiro, p. 60. 2013
- AZEREDO, HÉLIO ALVES DE. **O edifício até sua cobertura – Prática da construção civil**. 2. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1977.
- BASTOS, Paulo Sérgio dos Santos. **Fundamentos do Concreto Armado**. Curso de Engenharia. Notas de Aula. Universidade Estadual Paulista, 2006.
- BAUER, L. A. F. **Materiais de Construção – novos materiais para construção**. 5ª ed. Rio de Janeiro, 2000.
- CÁNOVAS, M. F. **Patologia e Terapia do Concreto Armado**. São Paulo: Pini, 1988.
- CONSELHO DE ARQUITETOS E URBANISTAS BRASIL. **Pesquisa Informalidade na Construção Civil no Brasil**. 2015. Disponível em: < <http://www.caubr.gov.br/pesquisa2015/>>. Acesso em: 20/04/2018.
- DÓREA, S.; SANTOS, D.; SALES, A.; SILVEIRA, P. Avaliação patológica da estrutura de concreto armado e dos componentes de uma edificação construída em 1914. **Scientia Plena**, vol. 6, n. 12, 2010.

FÉLIX, E.; CARRAZEDO, R.; POSSAN, E. Análisis paramétrico de la carbonatación en estructuras de hormigón por Redes Neuronales Artificiales. **Alconpat**. vol. 7, n.3, p. 302-316, 2017. DOI: <<http://dx.doi.org/10.21041/ra.v7i3.245>>.

GRAEFF, Â.; PILAKOUTAS, K.; LYNSDALE, C.; KYRIACOS, N. Corrosion Durability of Recycled Steel Fibre Reinforced Concrete. **Intersections/Intersect II**. v. 6, n. 7, p. 77-89, 2009. Disponível em: <<http://www.intersections.tuiasi.ro/index.php/JIIR/article/view/539/524>>. Acesso em: 20/04/2018.

HELENE, Paulo R.L. **Manual prático para reparo e reforço de estruturas de concreto**. São Paulo: Pini, 1992.

LOTTERMANN, André Fonseca. **Patologias em estruturas de concreto – estudo de caso**. 66 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Ijuí, 2013.

MARCELLI, M. **Sinistros na construção civil: causas e soluções para danos e prejuízos em obras**. São Paulo: Pini, 2007.

MASCIA, N.; SARTORTI, A. “Identification and analysis of pathologies in bridges of urban and rural roads”. **Revista Ingeniería de Construcción**. v. 26, n. 1, p. 05-24, abr., 2011. Disponível em: <[www.ing.puc.cl/ric](http://www.ing.puc.cl/ric)>. Acesso em: 20/04/2018.

FERNANDES, D.; PORTO, T. B. **Curso Básico de Concreto Armado**. São Paulo: Klaxon, 2015.

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

SERAFINI, R.; DE OLIVEIRA, M.; DE OLIVEIRA, S.; PAGNUSSAT, D. **Heritage Building: a pathological and performance impact analysis**. In: International Conference on Structural Repair and Rehabilitation, 12., 2016, Porto: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2016.

THOMAZ, E. **Trincas em edifícios: causas, prevenção e recuperação**. São Paulo: Pini, 1989

TIMOSHENKO, S. P.; WOYNOWSKY-KRIEGER, S. **Theory of plates and shells**. New York: Mc Graw Hill, 1959.

TRINDADE, D. **Patologias em estruturas de concreto armado**. 88f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria Centro de Tecnologia, Rio Grande do Sul, 2015.

