

## **ANÁLISE DE PAVIMENTOS DE EDIFÍCIOS DE CONCRETO ARMADO VIA MÉTODOS NUMÉRICOS**

**ARAÚJO**, Adrienne Carvalho de<sup>1</sup>, **PRADO**, Ademir Aparecido do<sup>2</sup>.

Palavras-chave: Modelagem, Elementos Finitos, Pavimento de Edifício.

### **1. INTRODUÇÃO** (justificativa e objetivos)

O concreto é um material composto por água, cimento e agregados. Desta simples combinação, surge um material com boa resistência a maioria das combinações de ações que solicitam as estruturas: cargas diretas, recalques de apoios, variações de temperatura, etc.

A determinação dos esforços, deformações e deslocamentos de um pavimento de edifício é feita, classicamente, através da análise individual de cada um de seus elementos componentes. Em um sistema composto de lajes e vigas, analisam-se isoladamente as lajes, considerando-as como placas de pequena espessura, apoiadas no contorno em vigas que são admitidas como indeslocáveis na direção vertical, devido ao fato de terem rigidez à flexão bem superior à das lajes. Supõe-se ainda que as vigas estão apoiadas em pilares indeformáveis na direção vertical. A partir dessas simplificações, as principais hipóteses que são usualmente empregadas neste procedimento são:

- As lajes são constituídas de material isótropo, elástico, linear e têm pequenos deslocamentos;
- As vigas de apoio são consideradas indeslocáveis na direção vertical;
- As ações das lajes nas vigas de apoio se fazem somente através de forças verticais, não havendo transmissão de momentos torçores para as vigas;
- Os apoios das lajes serão considerados como sendo: rotação totalmente livre e indeslocável para a translação na direção vertical (apoio simples): vigas de bordo e rotação totalmente impedida (engaste): lajes contínuas.
- Admite-se que as ações da laje nas vigas são uniformemente distribuídas e determinadas a partir da área de influência de cada uma, determinadas pela teoria das linhas de ruptura (charneiras plásticas), também denominado método do telhado.

A partir destas considerações é possível subdividir o pavimento em elementos constituintes mais simples, como lajes isoladas, vigas e pilares, e, assim, calcular cada componente isoladamente. Entretanto, o projeto executado dessa maneira pode apresentar resultados distantes daqueles que se obteria com um cálculo mais próximo do comportamento real.

O Método dos Elementos Finitos, aplicado à solução de problemas de mecânica das estruturas, pode ser interpretado como uma generalização dos procedimentos adotados em uma análise estrutural convencional de sistemas reticulados. Consiste o método em subdividir o domínio da equação que descreve o fenômeno físico em pequenas regiões onde o comportamento do campo possa ser aproximado por um polinômio. A análise das lajes via métodos numéricos, além de levar a resultados mais precisos, permite a análise dos pavimentos como um todo: análises simultâneas das lajes e das vigas, diminuindo as simplificações.

A modelagem de pavimentos de edifício com programas computacionais de Elementos Finitos, visando identificar as variações dos efeitos dos carregamentos: esforços solicitantes, tensões e

deslocamentos nas lajes. As modelagens serão feitas com a utilização dos seguintes modelos de elementos finitos: elementos de placa, elementos de casca e elementos sólidos. Os resultados serão comparados com as soluções clássicas da teoria das placas, com os processos simplificados (tabelas) e com resultados experimentais.

## 2. METODOLOGIA

As análises das lajes isoladas e do pavimento de edifício efetuadas neste trabalho empregaram os programas computacionais: SAP2000, CAD/TQS e DIANA. Os elementos finitos constituintes dos modelos de edifícios realizadas foram elementos de placas, de cascas e sólidos, buscando modelagens o mais próximo da realidade. As estruturas modeladas são de concreto armado.

### 2.1 – Primeira modelagem

Considerou em um edifício de dois pavimentos com cada um com comprimento e largura igual à (5,79 x 4,74)m, altura de pé direito entre os pavimentos de 2,80m e distancia do solo à primeira laje de 2,80m. Os apoios colocados entre a estrutura e o solo impedem as translações segundo os eixos globais X, Y e Z.



Figura 1: Modelagem do edifício de dois pavimentos no programa SAP2000 com elementos finitos sólidos.

As lajes da estrutura com dimensões de (5,41 x 4,36)m e foram modeladas com elementos sólidos de comprimento, largura e altura de (0,19 x 0,19 x 0,12)m. As vigas têm as seguintes dimensões (0,19 x 0,19 x 0,40)m e foram divididas na altura em elementos de (0,19 x 0,19 x 0,12)m e de (0,19 x 0,19 x 0,14)m. Os pilares apresentam as dimensões de (0,19 x 0,19 x 0,40)m. A análise considera cargas de paredes nas vigas, sobrecarga nas lajes e o peso próprio da estrutura.

### 2.2 – Segunda modelagem

A modelagem consiste de um edifício com o mesmo pavimento tipo do primeiro, mas com cinco pavimentos.

Estas estruturas foram modeladas com os sistemas computacionais:

- SAP 2000: Método dos Elementos Finitos de placas, de cascas e sólidos;
- Sistema CAD/TQS: Método da Analogia de Grelhas e o método simplificado de Czerny.

### 2.3 – Terceira modelagem

A terceira modelagem consiste de uma laje isolada, onde foi efetuada uma comparação entre as análises: lineares e não linear física (ou material). Para esta modelagem foi utilizado o programa computacional DIANA.

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 3.1 – Análise do compartamento do edifício de dois pavimentos

A Tabela 1 mostra uma o comparação entre o Método dos Elementos Finitos e Czerny referentes aos momentos fletores atuantes na estrutura.

Tabela 1 – Momentos fletores

Pavimento		Método dos Elementos Finitos( kN.m)	Czerny (kN.m)
Inferior	Meio da viga de bordo	34,57	---
	Centro da laje	9,125	6,49
Superior	Meio da viga de bordo	39,25	---
	Centro da laje	9,491	---

### **3.2 Análise da modelagem numérica**

Para a modelagem numérica das lajes será usada a versão 8.1.2 do programa DIANA.

A modelagem geométrica das lajes em concreto foi feita considerando a estrutura tridimensional e definindo-se pontos, linhas, superfícies e volumes. A interface gráfica do programa impõe dificuldade, tanto na modelagem da geometria do elemento em concreto, quanto na aplicação das propriedades e na visualização dos comandos. Para a modelagem das armaduras, quando aplicado o comando *reinforcement*, a geração da armadura é feita automaticamente, não sendo necessária a definição de superfícies e volumes para o aço. O modelo rompeu com o escoamento da armadura, observado no gráfico de carga-tensão no aço, iniciado com cargas próximas de  $7,0 \text{ KN/m}^2$  e as deformações no aço atingiram 0,38%. Nos resultados experimentais estes valores foram de  $6,25 \text{ KN/m}^2$  e 0,56% de deformação. Numericamente, este nível de deformação foi atingido a partir de 90% do carregamento total, ou seja 8,3 MPa

## **4. CONCLUSÃO**

Várias análises de pavimentos foram efetuadas durante o andamento deste trabalho, com análises lineares e não-lineares físicas. Estão apresentadas neste relatório apenas duas estruturas representativas: um edifício com dois pavimentos e uma laje isolada. Para as análises dos pavimentos do um edifício foi utilizado o Método dos Elementos Finitos com elementos de casca e também com elementos sólidos. A comparação entre as modelagens com estes elementos foi feita analisando os deslocamentos, uma vez que a modelagem com elementos sólidos não fornecem esforços solicitantes, estes devem ser obtidos de forma indireta.

A solução de Czerny foi próxima da solução com elementos finitos sólidos e menores que as obtidas com elementos de casca. Isto se deve a maior flexibilidade existente na modelagem com casca, uma vez que as vigas de bordo foram modeladas com elementos de barras que possuem o seu eixo neutro coincidente com a superfície média da laje. A análise não linear física da laje isolada quando comparada com resultados experimentais nos mostrou que se pode modelar adequadamente com valores bem próximos da realidade, desde que se tenha definidos de forma precisa os dados de entrada dos programas computacionais.

## **5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6118 – Projeto de estruturas de concreto: Procedimento. Rio de Janeiro, 2003.

CHUST, R. C. Análise não-linear de pavimentos de edifícios de concreto através da analogia de grelha. Dissertação de mestrado, EESC-USP. São Carlos. Janeiro de 1994.

DUARTE, M. A. S. Estudo comparativo entre diversos processos de análise de subsistemas horizontais de edifícios de concreto armado. Dissertação de mestrado, EEC-UFG. Goiânia. Agosto de 2004.

SAP2000, Manuais do SAP 2000, Analysis Reference, Berkeley, Califórnia/USA,1998.

## **FONTE DE FINANCIAMENTO – CNPq/PIBIC**

---

<sup>1</sup> Bolsista de iniciação científica. Escola de Engenharia Civil, [addriane@gmail.com](mailto:addriane@gmail.com)

<sup>2</sup> Orientador/ Escola de Engenharia Civil/UFG, [aprado@eec.ufg.br](mailto:aprado@eec.ufg.br)