

01 a 04 de outubro de 2018

Evento: XXVI Seminário de Iniciação Científica

**AVALIAÇÃO DO COMPORTAMENTO ESTRUTURAL DE PÓRTICOS
ESPACIAIS COM ACOPLAMENTO DE LAJES UTILIZANDO O MEF¹
EVALUATION OF THE STRUCTURAL BEHAVIOR OF SPACE PORCELAINS
WITH LAWN COUPLINGS USING THE FEM**

**Maurício Livinali², Ivando Stein³, Thais Dalenogare⁴, Felipe Gregory Da
Rosa⁵, Rafael Aésio De Oliveira Zaltron⁶, Diego Menegusso Pires⁷**

¹ Pesquisa realizada por aluno na disciplina de PTCC do curso de Engenharia Civil

² Graduando do curso de Engenharia Civil - UNIJUI. email: mauricio.livinali@gmail.com

³ Graduando do curso de Engenharia Civil - UNIJUI.

⁴ Graduando do curso de Engenharia Civil - UNIJUI

⁵ Graduando do curso de Engenharia Civil - UNIJUI

⁶ Professor Mestre em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Ouro Preto - UFOP

⁷ Graduando do curso de Engenharia Civil - UNIJUI

1. Introdução

A busca por um método numérico que gere e manipule resultados cada vez mais compatíveis com o comportamento real de um edifício possibilitou o desenvolvimento e aperfeiçoamento de métodos numéricos e computacionais cada vez mais eficientes (LIMA, 2017). Um deles é o Método dos Elementos Finitos (MEF), que consiste em transformar o elemento estrutural sólido em uma associação de elementos finitos, ligados entre si através de pontos nodais, onde se supõem que são concentradas todas as forças de ligação entre os elementos (ASSAN, 1999). Sabe-se que as lajes contribuem com sua rigidez transversal à flexão na rigidez global da estrutura devido ao seu comportamento de placa, participando na interação dos esforços e deslocamentos como os demais elementos estruturais (MARTINS, 2001). Diante disso, este trabalho busca avaliar a influência da rigidez à flexão das lajes definidas pela Teoria de Reissner-Mindlin, no comportamento estrutural de pórticos espaciais através de uma modelagem computacional realizada a partir do método dos elementos finitos. As avaliações serão entre modelos com e sem a influência do acoplamento das lajes, comparados com modelos já conceituados na bibliografia consultada. O tema tem como limitação a análise linear das estruturas, considerando apenas carregamentos estáticos em sua concepção.

2. Análise Estrutural

O MEF é um desenvolvimento natural da análise matricial de estruturas reticuladas (MARTHA, 2010), que são estruturas constituídas pela associação de elementos de barra em que a dimensão do eixo longitudinal do elemento é consideravelmente maior em relação às suas demais dimensões (SORIANO, 2003). Os pórticos espaciais são um tipo de estrutura reticulada onde não existem restrições na posição dos nós, direção dos membros ou direções das cargas. O seu sistema local de coordenadas é determinado com os nós inicial (i) e final (j) do elemento finito que, quando submetido as condições de equilíbrio, torna-se possível discretizar em seus pontos nodais as

01 a 04 de outubro de 2018

Evento: XXVI Seminário de Iniciação Científica

incógnitas à determinar, que são chamados de graus de liberdade (MARTHA, 2007). Os graus de liberdade do elemento serão os parâmetros necessários para a determinação de sua posição no espaço. Em um elemento de barra tridimensional idêntica ao que utilizaremos na modelagem do pórtico espacial, expõe-se 6 graus de liberdade em cada nó, relacionados com o esforços axiais (u), o esforços deflexivos (v e w), e rotações (ϕ), adotando-se 12 graus de liberdade por elemento finito. O pórtico espacial é então discretizado em vários elementos de barra, e cada uma delas fornece um conjunto de equações que posteriormente formarão a equação geral para a solução do problema (SORIANO, 2009). Considerando o elemento como isoparámetro, torna-se possível a utilização da Lei de Hooke generalizada. Com isso define-se a matriz de rigidez local do elemento de pórtico espacial. O número de linhas e colunas da matriz de rigidez do elemento é igual ao seu número de incógnitas. Assim, para o elemento de pórtico espacial que possui 6 graus de liberdade em cada nó, a sua matriz de rigidez terá a forma de 12 linhas e 12 colunas (12x12). Existem duas teorias que descrevem o comportamento de lajes, as Teorias de Kirchhoff-Love e de Reissner-Mindlin. A Teoria de Reissner-Mindlin para placas à flexão corresponde à Teoria de Timoshenko para vigas, cuja principal hipótese é que a seção transversal se mantém plana, mas não necessariamente perpendicular à tangente da linha elástica na configuração deformada (VAZ, 2011). A formulação do MEF prossegue seguindo a descrição feita sobre elementos isoparámetros anteriormente. Utiliza-se o elemento bilinear de 4 nós para a descrição dos elementos de área, sendo adotado em cada um dos nós 3 graus de liberdade. Com ambas formulações definidas, segue-se para o procedimento de acoplamento da placa ao pórtico espacial. A acoplamento trata-se da compatibilização dos graus de liberdade que dão continuidade entre os elementos do pórtico espacial com os elementos de placa.

3. Resultados

Para a análise dos modelos utilizou-se o software SAP2000, que utiliza implementações do MEF e Mindlin idênticas às que serão desenvolvidas no presente estudo, fornecendo como respostas os deslocamentos, esforços e reações de apoio nos nós analisados. Os resultados são comparados com soluções obtidas utilizando a mesma discretização dos elementos por diferentes autores, possibilitando futuras calibrações da modelagem.

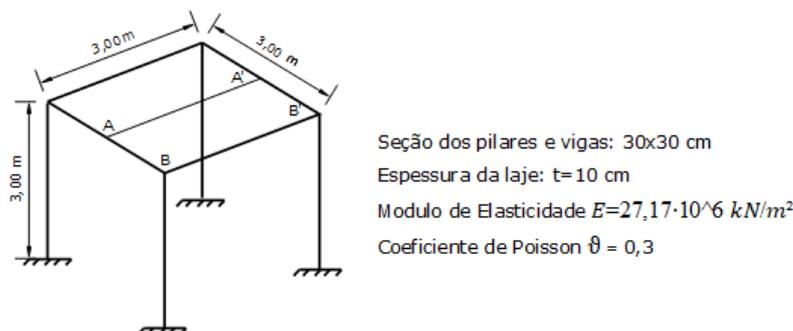
3.1 Pórtico espacial acoplado de laje

O modelo de acoplamento pórtico-placa avaliado segue o exemplo desenvolvido por Buzar (1996). O modelo é formado por um pórtico simples acoplado por uma laje quadrada com dimensões conforme Figura 1.

Figura 1 - Pórtico espacial acoplado de laje 10cm.

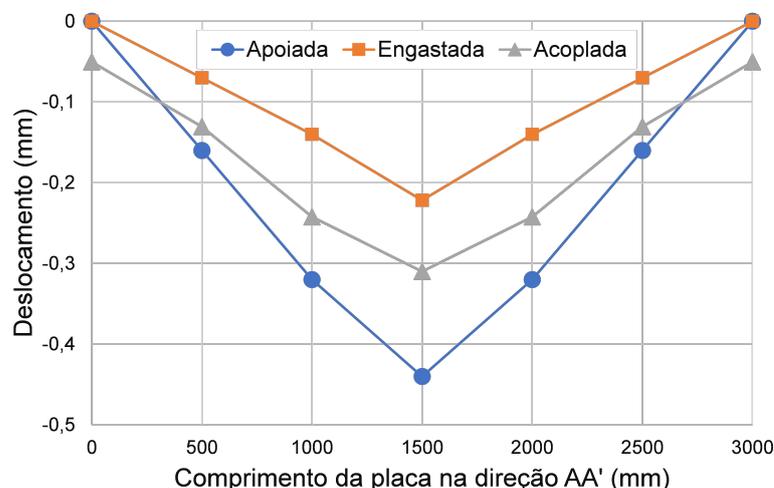
01 a 04 de outubro de 2018

Evento: XXVI Seminário de Iniciação Científica



Nota-se que todos os valores analisados são bem próximos, e portanto pode-se considerar como calibrado e satisfatório quanto aos resultados da modelagem desenvolvida. Diante dos resultados apresentados, torna-se possível a verificação dos diferentes deslocamentos que ocorrem na laje de 100mm, quando a mesma apresenta-se acoplada ou não ao pórtico espacial. Os resultados são visualizados na Figura 2.

Figura 2 - Comparação de deslocamentos da laje em AA'.



Percebe-se que quando acoplada, a laje apresenta deslocamentos intermediários em comparação quando analisada de forma apoiada ou engastada. A principal diferença nota-se que quando a laje é acoplada, os deslocamentos que ocorrem nas vigas e pilares influenciam em seus deslocamentos. Esse é o principal diferencial entre os métodos, que está presente principalmente quanto mais altos os edifícios a serem analisados.

4. Conclusões

Diante dos resultados obtidos, a escolha do método mostrou-se apta para ser utilizada em análises

01 a 04 de outubro de 2018

Evento: XXVI Seminário de Iniciação Científica

de estruturas, e portanto parte-se para a implementação da modelagem computacional. Há de se destacar a eficiência do modelo acoplado de pórtico-placa, que apresentou resultados intermediários aos obtidos em análises desenvolvidas por modelos separados. Tal possibilidade apresenta resultados mais realistas para a estrutura, permitindo uma análise de todo o conjunto, evitando-se a perda ou divergência de informações quando os elementos são modelados separados, tornando assim o dimensionamento mais técnico e racional.

A opção pela utilização do método de Reissner-Mindlin para a discretização de placas também mostrou-se eficaz, tornando a estrutura mais coerente com os esforços atuantes, por considerar os esforços de cisalhamento na modelagem de placas, esforços que são desconsiderados pela Teoria de Kirchhoff. A principal contribuição da presente pesquisa é justificar as escolhas para uma modelagem adequada, desenvolvida a partir do método dos elementos finitos com o acoplamento de lajes desenvolvidas pela Teoria de Reissner-Mindlin para análise de pórticos espaciais.

Palavra-Chave: Método dos Elementos Finitos, Acoplagem de Lajes em Pórticos, Placas de Reissner-Mindlin

5. Referências

- ASSAN, Aloisio Ernesto. Método dos elementos finitos: primeiros passos. Campinas, SP : Editora UNICAMP, 1999.
- BUZAR, Márcio Augusto Roma. Análise de placas com método dos elementos finitos e de contorno na modelagem de um edifício - Dissertação (Mestrado) - Universidade de Brasília, DF: UnB, 1996.
- GERE, James M.; WEAVER JR, William. Análise de Estruturas Reticuladas. Rio de Janeiro, RJ: Editora Guanabara Dois, 1981.
- LIMA, Silvio de Souza. Análise de Estruturas com computadores. São Paulo, SP: Editora Ciência Moderna, 2017.
- MARTHA, Luiz Fernando. Análise de Estruturas: Conceitos e Métodos Básicos. Rio de Janeiro, RJ: Editora Elsevier, 2010.
- MARTHA, Luiz Fernando. Métodos básicos da análise de Estruturas. Rio de Janeiro, RJ: PUC-Rio, 2007.
- SORIANO, Humberto Lima; LIMA, Silvio de Souza. Análise de Estruturas: Método das Forças e Método dos Deslocamentos, 2^a.ed. São Paulo, SP: Editora Ciência Moderna, 2006.
- SORIANO, Humberto Lima. Elementos Finitos: Formulação e Aplicação na Estática e Dinâmica das Estruturas. São Paulo, SP: Editora Ciência Moderna, 2009.
- SORIANO, Humberto Lima. Método de Elementos Finitos em Análise de Estruturas. São Paulo, SP: EDUSP, 2003.
- SOUSA JR., Edgard. Análise da interação entre núcleos estruturais e lajes em edifícios altos - Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos, SP: EESC-USP, 2001.
- VAZ, Luiz Eloy. Método dos elementos finitos em análise de estruturas. Rio de Janeiro: Elsevier, 2011.