

HUGO BONETTI SANTOS SILVA

Análise numérica da influência da excentricidade na ligação placa-viga em pavimentos usuais de edifícios.

Dissertação apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Estruturas.

Orientador: Prof. Associado João Batista de Paiva

São Carlos

2010

AUTORIZO A REPRODUÇÃO E DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE
TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO,
PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

Ficha catalográfica preparada pela Seção de Tratamento
da Informação do Serviço de Biblioteca – EESC/USP

S586a

Silva, Hugo Bonetti Santos

Análise numérica da influência da excentricidade na
ligação placa-viga em pavimentos usuais de edifícios /
Hugo Bonetti Santos Silva ; orientador João Batista de
Paiva. -- São Carlos, 2010.


Dissertação (Mestrado-Programa de Pós-Graduação em
Engenharia de Estruturas) -- Escola de Engenharia de São
Carlos da Universidade de São Paulo, 2010.

1. Associação placa-viga. 2. Método dos elementos
finitos. 3. Excentricidade placa-viga. 4. Pavimento com
poucas vigas. I. Título.

FOLHA DE JULGAMENTO

Candidato: Engenheiro **HUGO BONETTI SANTOS SILVA.**

Dissertação defendida e julgada em 01.10.2010 perante a Comissão Julgadora:


Prof. Associado **JOÃO BATISTA DE PAIVA – (Orientador)**
(Escola de Engenharia de São Carlos/USP)


Aprovado


Prof. Dr. **ANDRÉ TEÓFILO BECK**
(Escola de Engenharia de São Carlos/USP)

APROVADO


Prof. Dr. **JASSON RODRIGUES DE FIGUEIREDO FILHO**
(Universidade Federal de São Carlos/UFSCar)

Aprovado


Prof. Associado **MARCIO ANTONIO RAMALHO**
Coordenador do Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Civil (Engenharia de Estruturas)


Prof. Titular **GERALDO ROBERTO MARTINS DA COSTA**
Presidente da Comissão de Pós-Graduação

*“A todos que de alguma forma
contribuíram para que esse trabalho
fosse desenvolvido.”*

Agradecimentos

Primeiro a Deus, meus pais, Aldo Santos Silva e Neacir Maria Bonetti Silva, por me sempre me apoiarem e ajudarem durante toda a minha vida, e meus Irmãos Bruna e Heitor, minha namorada Daniela pela paciência e suporte durante esta fase de minha vida.

Ao Professor João Batista de Paiva, por ter me orientado e aconselhado durante todo o período desse mestrado.

Ao Professor José Samuel Giongo pelos esclarecimentos e suporte dado ao desenvolvimento desse trabalho.

A todos meus amigos, em especial Giovanni (Gigi), Rodrigo (Mário), Wanderson (Minêro).

Aos funcionários do Departamento de Estruturas de São Carlos.

A CAPES pela bolsa de mestrado.

*“Se dou um passo a frente já
estou em outro lugar.”*

Rodrigo Lima – Dead Fish

Resumo

Silva, H. B. S. **Análise numérica da influência da excentricidade na ligação placa-viga em pavimentos usuais de edifícios.** 2010. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2010.

Na análise de estruturas é comum a consideração da concentricidade entre vigas e placas. Estudos numéricos em pavimentos de laje nervurada, onde os espaçamentos das vigas são pequenos, mostram que a consideração da excentricidade entre placa e a viga resultam em redução dos deslocamentos na estrutura, entretanto não existem estudos sobre a influência da excentricidade em pavimentos com poucas vigas. Este trabalho apresenta a análise numérica de pavimentos com dimensões usuais considerando ou não a excentricidade com o objetivo de verificar a influência da excentricidade no comportamento da estrutura. As análises mostraram diferenças de deslocamentos e tensões nas estruturas estudadas. O efeito de excentricidade pode ser incluído através da modificação da matriz de rigidez do elemento finito de viga. Todos os pavimentos foram analisados com o software ANSYS com elementos de placa e viga que representassem os modelos do trabalho.

Palavras-Chave: Associação placa-viga, Método dos elementos finitos, Excentricidade placa-viga, pavimento com poucas vigas.

Abstract

Silva, H. B. S. **Numerical analysis of plate-beam coupling eccentricity influence of usual buildings slabs.** 2010. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2010.

It's usual practice on structural analysis of buildings slabs to assume the concentricity between plates and beams. Numerical studies in waffle-slabs, where the distance between beams is small, showed that the eccentricity of beam to plate results in reduction of stresses and displacements of the system, however there is not similar study about the influence of eccentricity in slabs with few beams. This work presents numerical analysis results of at slabs with usual dimensions considering or not plate-beam eccentricity, aiming at evaluating its influence in structural behavior. The analysis showed differences of displacements and stress in studied structures. The effects of eccentricity can be included by modifying the stiffness matrix of the beam finite element. All slabs were analyzed with ANSYS program with suitable beam and plate elements.

Keywords: Plate-beam association, Finite Element Method, plate-beam eccentricity, few beams slabs.

Sumário

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	OBJETIVOS.....	16
1.2	TÉCNICAS E MÉTODOS UTILIZADOS.....	16
1.3	SÍNTESE DOS CAPÍTULOS	17
2	UTILIZAÇÃO DA EXCENTRICIDADE NA ANÁLISE ESTRUTURAL	19
2.1	INTRODUÇÃO	19
2.2	HISTÓRICO DA UTILIZAÇÃO DA EXCENTRICIDADE EM PLACAS ENRIJECIDAS.....	19
2.3	DEFINIÇÃO DE LAJES	25
2.4	EQUAÇÃO DIFERENCIAL DO PROBLEMA DE PLACAS.	25
2.5	MATRIZ DE RIGIDEZ DE ELEMENTO DE VIGA EXCÊNTRICA.....	28
2.5.1	<i>Montagem da matriz de rigidez de um elemento de viga levando em consideração a excentricidade.</i> 28	
2.6	ERRO NA FORMULAÇÃO DE VIGAS EXCÊNTRICAS.....	31
2.7	EXEMPLO DE APLICAÇÃO DAS MATRIZES DE RIGIDEZ.....	35
3	DESCRIÇÃO DOS EXEMPLOS	37
3.1	INTRODUÇÃO	37
3.2	CONSIDERAÇÕES DE EXCENTRICIDADE NOS MODELOS NUMÉRICOS ADOTADOS	37
3.3	CONSIDERAÇÕES PARA TORÇÃO DE VIGAS.....	38
3.4	APOIOS.....	38
3.5	TRECHOS RÍGIDOS.....	39
3.6	MATERIAIS.	39
3.7	ELEMENTOS ADOTADOS	40
4	VALIDAÇÃO DE MODELOS NO SOFTWARE ANSYS.	43
4.1	INTRODUÇÃO	43
4.2	PLACAS SUPOSTAS POR VIGAS NO CONTORNO E APOIOS RÍGIDOS NOS CANTOS.	43
4.3	CASCAS COM ENRIJECEDORES.	45
4.3.1	<i>Casca com enrijecedor central.</i>	45
4.3.2	<i>Modelo de casca com enrijecedores em cruz.</i>	47
4.3.3	<i>Variação da altura do enrijecedor:</i>	51

4.3.4	<i>Casca com enrijecedores em duas bordas.</i>	52
5	EXPERIMENTAÇÕES NUMÉRICAS DESTE TRABALHO.	59
5.1	INTRODUÇÃO	59
5.2	PAVIMENTO QUADRADO	59
5.2.1	<i>Deslocamentos</i>	66
5.2.2	<i>Momentos Fletores nas nervuras</i>	76
5.2.3	<i>Forças axiais nas nervuras</i>	87
5.2.4	<i>Cisalhamento nos pontos</i>	96
5.2.5	<i>Momento fletor na direção X da capa</i>	97
5.2.6	<i>Tensões na direção Y da capa</i>	146
5.3	ESTUDO DE UM PAVIMENTO REAL	156
5.3.1	<i>Apresentação do problema</i>	156
5.3.2	<i>Determinação dos carregamentos dos panos das lajes</i>	158
5.3.3	<i>Resultados</i>	161
5.3.4	<i>Deslocamentos</i>	161
5.3.5	<i>Esforços Axiais nos elementos lineares</i>	167
5.3.6	<i>Diagramas de esforços cortantes nas vigas</i>	171
5.3.7	<i>Diagramas de momento fletor nas vigas</i>	172
5.3.8	<i>Esforços normais na direção X das lajes</i>	178
5.3.9	<i>Esforços normais na direção Y das lajes</i>	179
5.3.10	<i>Momentos M_x nas lajes</i>	180
5.3.11	<i>Momentos M_y nas lajes</i>	182
5.3.12	<i>Tensões nas vigas</i>	184
5.3.13	<i>Tensões na direção X da capa</i>	187
5.3.14	<i>Tensões na direção Y da capa</i>	188
6	CONCLUSÃO	190
	REFERENCIAS	193

1 Introdução

Nos dias de hoje, com a necessidade de se aumentar a produtividade nos escritórios de projeto estrutura, é imprescindível a utilização de softwares para o cálculo e dimensionamento das estruturas. Somando a isso existe também a necessidade de redução de custos na execução da estrutura.

Estudos mostram que as lajes maciças chegam a consumir dois terços do concreto da estrutura. Portanto, é interessante dar atenção a estes elementos, desde a sua concepção, com o objetivo de gerar economia na estrutura. Essa economia está intimamente ligada com as considerações adotadas na representação do modelo físico e mecânico da estrutura.

Considerando o caso das lajes nervuradas, existem vários métodos para se obter de esforços e deslocamentos da placa. Entre eles podemos citar:

- A utilização da Teoria de Placa Ortotrópica Equivalente, que faz uso da inércia equivalente da seção da laje nervurada para uma laje maciça.
- Analogia de Grelha, que considera a inércia da seção “T” da capa e da nervura atuando de forma simultânea.
- Processo dos Pórticos Múltiplos, utilizando espessura equivalente da laje nervurada com a análise de pórtico plano.
- Processo dos pórticos equivalentes, que considera espessura equivalente ou a seção real aplicada num pórtico plano. Esta técnica considera o pilar por um pilar equivalente para o cálculo de lajes nervuradas com pilares e capitéis.

Todos esses métodos são aproximações. Porém, com o aumento da capacidade de processamento dos computadores fica viável hoje em dia, a utilização de modelos que representem a estrutura de uma forma mais realista, inclusive adotando fatores que são negligenciados. Um desses fatores é a excentricidade na ligação entre laje e viga de pavimentos.

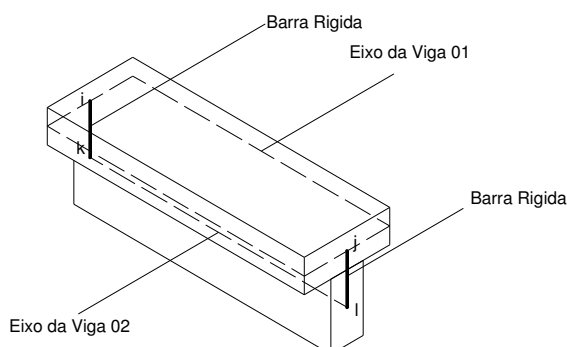


Figura 1.1: Exemplo de viga excêntrica utilizando *offset* rígido

1.1 Objetivos

Em vários campos da engenharia existem estudos sobre a influência da excentricidade entre cascas e enrijecedores pouco espaçados. Porém, para situações em que o espaçamento é grande não existem muitos estudos. Sendo assim, este trabalho apresenta um estudo em pavimentos usuais com poucas vigas.

Entende-se pavimentos com poucas vigas, aqueles em que os espaçamentos entre as nervuras ultrapassam os limites de dimensões estipulados pela Norma Brasileira de Concreto Armado NBR 6118/2003.

Desta forma será apresentado:

- Revisão bibliográfica de modelos que incorporem a utilização da excentricidade entre placa e nervuras.
- Estudos numéricos de pavimentos considerando ou não a excentricidade entre a placa e a viga fazendo uma comparação de deslocamentos e esforços dos mesmos.

1.2 Técnicas e métodos utilizados

Neste trabalho foi utilizado o Método dos Elementos Finitos através do software ANSYS para a obtenção dos esforços e deslocamentos das estruturas aqui estudadas.

O Método dos Elementos Finitos foi adotado por ser uma técnica muito difundida entre os programas de cálculo estrutural e por apresentar resultados bastante satisfatórios.

Os elementos utilizados foram de vigas tridimensionais com seis graus de liberdade por nó que possuem a opção da consideração da excentricidade (BEAM4 e BEAM44). Estes elementos representam de forma satisfatória os elementos lineares da estrutura. Para representar elementos planos, foi utilizado o elemento de placa quadrada com seis graus de liberdade por nó (SHELL63).

O material utilizado foi o concreto armado com características definidas pela Norma Brasileira de Concreto Armado NBR 6118/2003.

Todas as estruturas são supostas trabalhando no regime elástico-linear com pequenos deslocamentos e desconsiderando os efeitos do cisalhamento na seção.

Os carregamentos aplicados são ortogonais ao plano dos elementos da estrutura.

As seções das vigas são prismáticas com pelo menos um eixo de simetria.

1.3 Síntese dos capítulos

Este trabalho está dividido em seis capítulos, de acordo com os seguintes objetivos:

O capítulo 1 é uma apresentação do trabalho e uma visão geral do assunto tratado, das técnicas utilizadas e objetivos a serem alcançados.

O capítulo 2 apresenta um breve levantamento bibliográfico sobre como vem sendo tratada a excentricidade na ligação placa-viga e como pode ser utilizada em programas comerciais e também uma breve revisão do problema de placas.

O capítulo 3 descreve as considerações adotadas para melhoria da representação do comportamento estrutural dos modelos adotados.

No capítulo 4 são estudados modelos para validar as considerações utilizadas neste trabalho.

O capítulo 5 apresenta modelos com dimensões próximas a pavimentos reais e um pavimento real de edifício, onde são analisados os efeitos da excentricidade entre placa e a viga nos deslocamentos e esforços.

O capítulo 6 apresenta um breve apanhado do trabalho e as conclusões das análises dos resultados obtidos.

2 Utilização da excentricidade na análise estrutural

2.1 Introdução

Como já foi mencionado, a excentricidade é um fator que muitas vezes é desconsiderado na análise estrutural de pavimentos usuais. Pretende-se mostrar nessa seção um breve histórico de como essa questão vêm sendo abordada, inclusive em outros métodos de cálculo.

2.2 Histórico da utilização da excentricidade em placas enrijecidas

Existem várias formas de se representar a excentricidade entre placas e vigas em um modelo estrutural, como por exemplo, através do sistema de nós mestre e escravo ou *offset* rígido.

Rossow et al. (1978) implementaram o Método das Restrições para resolver o problema de placas com enrijecedores concêntricos e excêntricos. O método das restrições consiste no desenvolvimento de uma hierarquia de elementos em um único programa que consiga atingir convergência tanto em diminuir o tamanho do elemento quanto em aumentar o grau do polinômio. O usuário do programa, com este método, pode definir o grau do polinômio que irá representar a aproximação de campo. Depois que os dados de entrada estão prontos para um determinado problema, ele pode ser resolvido com uma mínima re-entrada de dados, só o grau do novo polinômio. A vantagem do método é que a convergência fica mais rápida com o aumento do grau do polinômio. A desvantagem do método é que a verificação dos resultados e re-entradas pode dar mais trabalho ao analista.

Kanok-Nukulchai et al. (1982) apresentaram um elemento para cálculo de lajes nervuradas com o conceito do macro elemento. Este conceito se baseia em considerar uma região da laje (no geral uma placa apoiada nas nervuras) como um único elemento tratando-o como um macro-elemento. O objetivo dessa técnica é diminuir os graus de liberdade do modelo reduzindo o custo computacional no cálculo de esforços e deslocamentos. A excentricidade é abordada através da técnica de nós mestre-escravo, onde os nós das placas são os nós mestre enquanto os da viga são os escravos.

Peng-Cheng et al. (1987) apresentaram o desenvolvimento da análise de placas enrijecidas com o uso de funções B spline para problemas de análise estática, vibração e estabilidade de placas. A formulação do modelo utiliza de

enrijecedores excêntricos às placas através de offsets rígidos nas duas direções de seu plano.

Deb et al. (1988) fizeram uma comparação de dois elementos de placas baseados na teoria de Mindlin com enrijecedores. No primeiro modelo os enrijecedores deveriam ser posicionados na linha dos pontos do elemento. No segundo as vigas podem ser colocados dentro do elemento de placa sem que ocorra perturbação na malha. Em ambos os casos a excentricidade é tratada como offset rígido.

Deb et al. (1991) apresentaram estudos numéricos de placas ortótropas com deformação por cisalhamento e enrijecedores considerando a não-linearidade geométrica pelo Método dos Elementos Finitos. Procurava-se saber o quão espaçados deveriam estar os enrijecedores para que a teoria da placa ortótropa não fosse mais representativa. O autor utilizou os mesmos modelos de Deb, et al., (1988) utilizando a não-linearidade geométrica. Os modelos tinham enrijecedores pouco espaçados e rigidez à torção desprezível. O autor concluiu que é necessário uma taxa de espaçamento entre nervuras por comprimento de pelo menos 0,067 para se obter resultados de até 10% nos deslocamentos e tensões a favor segurança para uma aproximação ortótropica. Foi mostrado também que junto com o fator volumétrico utilizado por alguns autores, deve ser usado o fator da excentricidade para a apresentação de resultados de placas enrijecidas.

Harik et al. (1988) trataram com soluções analíticas o problema de placas enrijecidas utilizando o método das faixas com funções de aproximação trigonométricas. No modelo apresentado os enrijecedores foram tratados como vigas e foram localizados na direção das faixas na ligação entre as placas. As vigas foram consideradas concêntricas com as faixas das placas. Ao expressar os deslocamentos por séries infinitas foi possível obter um conjunto de oito equações diferenciais, cada uma envolvendo um componente de deslocamento.

Harik et al. (1993) estudaram pelo Método dos Elementos Finitos placas enrijecidas em vibração livre. O elemento proposto pelo autor leva em consideração a excentricidade entre a placa e o elemento de viga através de offset rígido. O autor mostrou que os modelos concêntricos têm frequências mais baixas que os modelos excêntricos, chegando até a metade do valor.

Mukhopadhyaya (1994) acrescentou a um elemento de placa lisa que utiliza o Método das Diferenças Finitas Semi-analíticas elementos de viga para simular

enrijecedores. Estes elementos de viga tinham a habilidade de representar a excentricidade entre a placa e a viga. O autor comparou seu elemento com exemplos da literatura e chegou a boas concordâncias de resultado.

Kolli et al. (1996) tratou de placas laminadas com enrijecedores excêntricos tratados como offset rígido. O elemento apresentado possui nove nós e quarenta e cinco graus de liberdade (três translações e duas rotações por nó), é isoparamétrico e quadrilateral. Os enrijecedores são modelados como vigas laminares e são colocados sobre as linhas nodais da placa. São utilizadas funções de forma lagrangeanas e o elemento de viga possui três nós com quatro graus de liberdade cada um, sendo translação no eixo Z, deslocamento axial e rotações em torno dos eixos x e y. Para não perder as deformações laterais das vigas foi utilizada uma relação constitutiva derivada de placas laminadas ignorando as tensões na largura dos enrijecedores ($\sigma_y = \tau_{xy} = \tau_{yz} = 0$), mas não as deformações ($\epsilon_y \neq \gamma_{xy} \neq \gamma_{yz} \neq 0$). O autor testou várias posições de enrijecedores nas placas e chegou à conclusão de que essas posições influenciam nos padrões de deflexão das placas.

Jiang et al. (1997) estudaram a influência da malha e de modelagem em placas retangulares sem enrijecedores, sanduíche e com enrijecedores com seção tipo “chapéu”. Foram utilizados elementos de placa com quatro nós e seis graus de liberdade por nó, elemento sólido linear com oito nós e três graus de liberdade por nó e elemento sólido quadrático com vinte nós e três graus de liberdade por nó dentro da biblioteca do software ABAQUS. As soluções encontradas foram comparadas com soluções analíticas para avaliar a representatividade de cada modelo. O autor concluiu que os elementos de casca de primeira ordem e o elemento sólido de segunda ordem representaram bem a flexão e o empenamento dos modelos, porém o elemento sólido de primeira ordem não consegue representar o problema até mesmo com malhas muito refinadas.

Bedair (1997) propôs a utilização da programação seqüencial quadrática para a solução de problemas de placas enrijecidas. Neste modelo, a estrutura é idealizada com ligações rígidas entre vigas e placas. As funções de deslocamentos da placa são tratadas como entrando e saindo do plano. O autor comparou esse método com outros vários encontrados na literatura.

Tanaka et al. (1998) apresentaram um elemento de placa com enrijecedores pelo utilizando o Método dos Elementos de Contorno. Os enrijecedores podem ser

modelados como excêntricos ao plano da placa também através de offset rígido. Ele estudou o elemento em várias situações de apoio e comparou com problemas da literatura e obteve boa concordância nos resultados.

Gruttmann et al. (1998) apresentaram um elemento de viga tridimensional para análise não-linear geométrica. O elemento é baseado na teoria de viga de Timoshenko e leva em consideração as deformações por cisalhamento. O elemento pode ser usado com elementos de casca com seis graus de liberdade por nó e pode ser utilizado como enrijecedor de placas. Nos teste ele se mostrou coerente com outros elementos da literatura.

Abdul-Wahab et al. (2000) estudaram modelos reduzidos de pavimento quadrado em laje nervurada. Os resultados dos ensaios foram comparados com métodos numéricos, sendo eles o da espessura equivalente, e o da placa ortótropa equivalente. O autor também propôs um método baseado no “módulo de elasticidade efetivo”. O modelo da placa ortótropa, apesar de ser trabalhosa na obtenção da rigidez a torção obteve boa concordância com os ensaios. O método da espessura equivalente foi modificado para ser aplicado em modelos fissurados e não fissurados e obteve valores maiores de rigidez da placa do que os ensaios. O método simplificado da elasticidade equivalente obteve resultados para o lado da segurança e próximos aos ensaios.

Sapountzakis et al. (2000) apresentaram um elemento de placa enrijecida com vigas através de offset rígido utilizando o Método da Equação Análoga. Este elemento considera as forças e deslocamentos no plano na placa e as forças axiais e deformações na viga. A análise consistia em separar as vigas do elemento de placa com seções paralelas a face inferior da placa. As forças de interface são estabelecidas usando condições de continuidade na interface. O autor concluiu que este modelo apresentou resultados mais realistas que os outros modelos que foram comparados, pois levam em conta os deslocamentos e forças que agem no plano da placa e as deformações axiais e tensões que agem na viga. Uma das vantagens deste método é a possibilidade da obtenção de esforços cortantes entre a placa e a viga, o que é de grande importância para o projeto de elementos pré-fabricados.

Sapountzakis et al. (2007) *Apud* Sapountzakis et al. (2008) incrementaram um elemento apresentado em Sapountzakis et al. (2000) fazendo a consideração de tensões (trações) em todas as direções na interface entre a placa e a viga. Foi admitido que essas tensões têm distribuição uniforme na largura da viga.

Sapountzakis et al. (2008) Melhoraram o elemento de Sapountzakis et al. (2007) *Apud* Sapountzakis et al. (2008) adicionando a consideração da distribuição não uniforme do cisalhamento na interface da placa-viga e a resposta não uniforme à torção das vigas representando uma solução generalizada para placas enrijecidas com vigas de paralelas com dupla simetria e conexões deformáveis e carregamento arbitrário.

Barik et al. (2002) propuseram outro elemento de placa enrijecida com doze nós, isoparamétrico e que não sofre o fenômeno do shear locking (travamento). Os enrijecedores poder dispostos na placa em qualquer posição e em qualquer direção sem a necessidade de seguir as linhas nodais. O elemento de placa é obtido com o acoplamento de uma chapa com oito graus de liberdade com um elemento de placa simples com 12 graus de liberdade conhecido como ACM. O enrijecedor possui seis graus de liberdade. Foram feitos testes de comparação entre modelos de outros autores e o modelo de Barik obteve bons resultados.

Dias (2003) estudou a influência da excentricidade na ligação viga-placa em pavimentos com laje nervurada. Os modelos estudados consideravam suposições que são utilizadas em escritórios de cálculo e as recomendações da Norma Brasileira de Concreto Armado NBR6118/2003. O estudo mostrou que existe grande diferença nos deslocamentos entre modelos excêntricos e concêntricos e que essas diferenças podem chegar 100%.

El-Dardiry et al. (2007) investigou a influência da excentricidade na avaliação de vibração livre em pavimentos de estruturas mistas. O autor explica que o momento de inércia de uma seção composta em relação a qualquer posição adotada do eixo da linha neutra é maior que o momento de inércia real da seção. São analisados os erros relativos entre quatro modelos de cálculo do momento de inércia da seção composta em relação ao eixo da linha neutra adotada e o momento de inércia real. Foram analisadas as frequências naturais de várias placas enrijecidas, variando da localização do eixo da linha neutra de acordo com as suposições mostradas pelo autor e são comparadas com outras análises numéricas e valores de frequências naturais de medidas experimentais. Foi concluído que a posição da linha neutra não influencia na previsão das frequências naturais, mas que a desconsideração da excentricidade pode subestimar, no mínimo, o valor da frequência natural fundamental da estrutura.

Verificou-se também que a consideração da excentricidade não altera os modos de vibração das placas, porém pode alterar a sua ordem.

Fernandes et al. (2008) apresentaram uma formulação de placa em flexão para o método de elementos de contorno utilizando as hipóteses de Reissner. A formulação leva em conta a iteração da placa com vigas, porém, não é considerado o efeito da excentricidade.

Araújo (2008) comparou o método clássico de cálculo de lajes com o método dos elementos finitos (M.E.F.) e propôs um método de dimensionamento baseado em tabelas. Na modelagem em M.E.F. foram utilizados elementos baseados na teoria de vigas de Timoshenko e elemento de placa baseado na teoria de placas de Mindlin e foi considerado excentricidade entre a placa e a viga. O autor mostrou que o método clássico de tabelas para o cálculo de lajes é inadequado quando se utiliza de apoios flexíveis. Porém o método apresentado se utiliza de tabelas estimando o momento fletor positivo de uma laje simplesmente apoiada e quando existe bordo comum de lajes adota-se o momento negativo de maior valor absoluto.

Quando se faz a análise de esforços em um elemento que utiliza excentricidade, não pode se levar em conta apenas ao efeito de um esforço (como por exemplo, só o momento fletor). Deve-se dar atenção às tensões resultantes da combinação dos esforços. Quando se considera a excentricidade, os elementos apresentam esforços axiais muito maiores que na consideração concêntrica.

Paiva et al. (2010) apresentaram uma nova formulação de elemento de contorno para a análise da iteração de placa-viga. A formulação utiliza elementos com três valores nodais de contorno e as vigas são substituídas pelas suas ações. O autor mostrou que esse método apresentou resultados com ótima concordância com outros métodos numéricos e analíticos.

Percebe-se que o problema de cascas enrijecidas com elemento de barra excêntrico foi muito estudado, porém o mesmo não ocorre sobre para estruturas enrijecidas com poucas vigas, como no caso de um pavimento usual. Esse trabalho apresenta exemplos de pavimentos com dimensões usuais comparado às diferenças de resultados entre os modelos com vigas concêntricas e excêntricas.

2.3 Definição de lajes

As lajes são estruturas bidimensionais com predominância de carregamentos transversais ao seu plano e que tem a função de transferir esses carregamentos a outros elementos estruturais, tais como vigas ou pilares.

As lajes possuem outras funções importantes na estruturas como, por exemplo, a de diafragmas com rigidez infinita em seu plano. Essa característica faz com que a laje distribua esforços horizontais nas estruturas de contraventamento formadas por vigas e pilares.

As lajes podem ser classificadas quanto a seus apoios e armação. E podem ser tratadas pela sua natureza como:

- Maciças – São lajes constituídas por uma placa maciça de concreto armado ou concreto portendido.
- Nervuradas – São Lajes em que a área tracionada é constituída por nervuras.
- Mistas – São semelhantes às lajes nervuradas, porém na região comprimida não é obrigatório a utilização de concreto na região comprimida.
- Em grelha – São lajes nervuradas com espaçamento entre nervuras maiores que 100 cm.
- Duplas Mais um caso particular de lajes nervuradas ou em grelha. O que caracteriza este tipo de laje é o fato das vigas, ou nervuras, ficarem situadas entre dois painéis de lajes. São mais encontradas em pavimentos de transição ou pilotis.
- Pré-fabricadas – são lajes compostas de vigotas e blocos cerâmicos, ou lajes em painéis, por exemplo, lajes π ou alveolares.

Neste trabalho a natureza de lajes que mais interessa são as maciças e as grelhas. Não serão feitos cálculos de armação e as condições de apoios serão consideradas de forma automática, pois será utilizado o Método dos Elementos Finitos que trata a ligação entre lajes e outros elementos estruturais de forma realista pela contribuição das rigidezes dos elementos que chegam num determinado ponto.

2.4 Equação diferencial do problema de placas.

Placas são os elementos laminares planos e simétricos em relação ao plano médio. Os carregamentos são aplicados na direção perpendicular ao plano da placa produzindo deslocamentos verticais e rotações nas direções x e y . Um esquema das idealizações das cargas e reações dentro do elemento é mostrado na Figura 2.1.

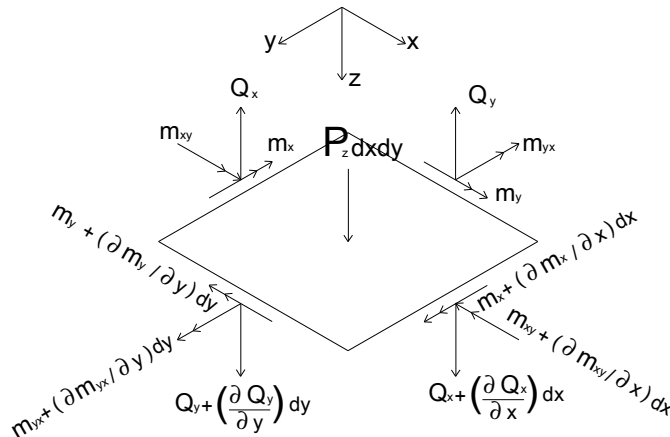


Figura 2.1: Esquema de carregamento e reações em um elemento infinitesimal de placa.

As equações de equilíbrio do elemento de placa são:

$$-Q_x + \left(\frac{\partial m_x}{\partial x}\right) + \left(\frac{\partial m_{yx}}{\partial y}\right) = 0 \quad (2.1)$$

$$-Q_y + \left(\frac{\partial m_y}{\partial y}\right) + \left(\frac{\partial m_{xy}}{\partial x}\right) = 0 \quad (2.2)$$

$$P_z + \frac{\partial Q_x}{\partial x} + \frac{\partial Q_y}{\partial y} = 0 \quad (2.3)$$

onde Q_x , Q_y , são esforços cortantes, P_z é a força aplicada por área, m_x , m_y , os momentos na direção x e y da placa e m_{xy} o momento volvente, sendo que $P_z = P_z(x, y)$. Substituindo (2.1) e (2.2) em (2.3), e sendo $m_{xy} = m_{yx}$ obtém-se:

$$\frac{\partial^2 m_x}{\partial x^2} + \frac{2\partial^2 m_{xy}}{\partial x \partial y} + \frac{\partial^2 m_y}{\partial y^2} = P_z \quad (2.4)$$

as relações entre deformações (ϵ_x , ϵ_y , γ_{xy}) e deslocamentos (w) das placas são dadas por:

$$\epsilon_x = -z \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \quad (2.5)$$

$$\epsilon_y = -z \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \quad (2.6)$$

$$\gamma_{xy} = \gamma_{yx} = -2z \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} \quad (2.7)$$

deformações geram tensões dadas por:

$$\sigma_x = \frac{E}{1-\nu^2} (\epsilon_x + \nu \epsilon_y) \quad (2.8)$$

$$\sigma_y = \frac{E}{1-\nu^2} (\epsilon_y + \nu \epsilon_x) \quad (2.9)$$

$$\tau_{xy} = \tau_{yx} = \frac{E}{2(1+\nu)} \gamma_{xy} \quad (2.10)$$

então substituindo (2.5) e (2.6) em (2.8) e (2.9) e substituindo (2.7) em (2.10), então se tem:

$$\sigma_x = -\frac{2Ez}{1-\nu^2} \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \nu \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \right) \quad (2.11)$$

$$\sigma_y = -\frac{2Ez}{1-\nu^2} \left(\frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \nu \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \right) \quad (2.12)$$

$$\tau_{xy} = \tau_{yx} = -\frac{Ez}{1+\nu} \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} \quad (2.13)$$

Os momentos fletores resultantes de esforços internos das placas podem ser obtidos pela integração das tensões normais na placa. O momento fletor m_x por unidade de comprimento é calculado da seguinte com a seguinte equação:

$$m_x = \int_{-\frac{h}{2}}^{\frac{h}{2}} z \sigma_x dz \quad (2.14)$$

Substituindo (2.11) e integrando tem-se:

$$m_x = -\frac{Eh^3}{12(1-\nu^2)} \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \nu \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \right) \quad (2.15)$$

Analogamente:

$$m_y = \int_{-\frac{h}{2}}^{\frac{h}{2}} z \sigma_y dz \quad (2.16)$$

$$m_y = -\frac{Eh^3}{12(1-\nu^2)} \left(\frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \nu \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \right) \quad (2.17)$$

Para os momentos torçores tem-se:

$$m_{xy} = \int_{-\frac{h}{2}}^{\frac{h}{2}} z \tau_{xy} dz \quad (2.18)$$

Integrando e substituindo (2.13)

$$m_{xy} = -\frac{Eh^3(1-\nu)}{12(1-\nu^2)} \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} \quad (2.19)$$

Chamando

$$D = \frac{Eh^3}{12(1-\nu^2)} \quad (2.20)$$

e substituindo as equações (2.15), (2.17) e (2.19) em (2.4)

$$\frac{\partial^4 w}{\partial x^4} + \frac{2\partial^4 w}{\partial x^2 \partial y^2} + \frac{\partial^4 w}{\partial y^4} = \frac{P_z}{D} \quad (2.21)$$

que é a equação diferencial governante de placa, obtida por Lagrange.

2.5 Matriz de rigidez de elemento de viga excêntrica.

2.5.1 Montagem da matriz de rigidez de um elemento de viga levando em consideração a excentricidade.

Para melhor entendimento de como funciona a representação de excentricidade na modelagem numérica, será usado como exemplo problema de uma seção formada por duas vigas com eixos separados, conforme na Figura 2.2:

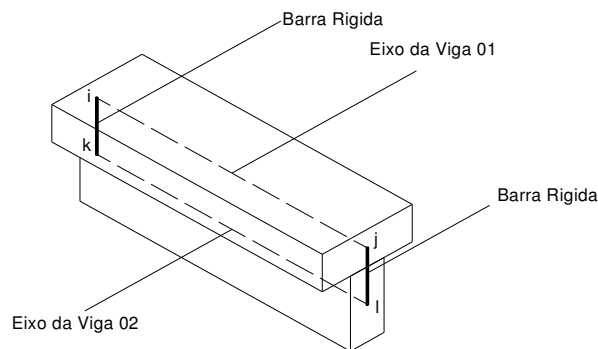
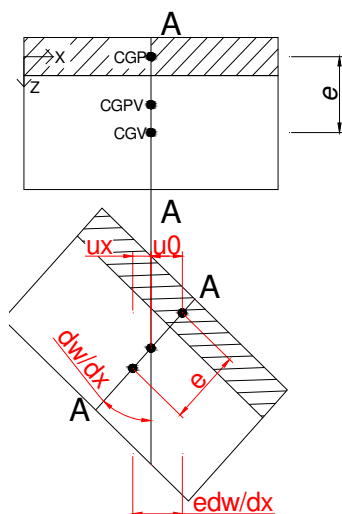


Figura 2.2: Ligação das vigas com barras rígidas

Os índices i, j, k e l indicam os nós das duas vigas apresentadas. A Figura 2.3 mostra a posição da viga deformada, bem como uma descrição dos símbolos utilizados:



A-A: Delimitação de uma seção da viga.

CGP: Centro de Gravidade da Placa.

CGPV: Centro de Gravidade da seção viga-placa.

CGV: Centro de Gravidade da viga.

u0: Deslocamento axial do plano médio da placa.

ux: Deslocamento axial de um ponto na viga distante "e" do plano médio da placa.

e: Excentricidade da placa em relação à viga. Medida entre o plano médio da placa e o centro de gravidade da viga.

Figura 2.3 - Esquema da relação deslocamento axial da viga com rotação da placa.

Admitindo que o sistema trabalhe no regime de pequenos deslocamentos e que as seções planas continuam planas, após a deformação, o deslocamento do centro de gravidade da viga é função do deslocamento do plano médio da placa, da excentricidade placa-viga e da derivada do deslocamento transversal:

$$u_x = u_0 - e \, dw/dx \quad (2.22)$$

De um modo genérico, considerando-se a possibilidade de excentricidades nas duas direções, a matriz de transformação da viga, para o eixo local é dada por:

$$\begin{Bmatrix} u_{x2} \\ u_{y2} \\ u_{z2} \\ \theta_{x2} \\ \theta_{y2} \\ \theta_{z2} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & -e_z & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & e_y \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u_{x1} \\ u_{y1} \\ u_{z1} \\ \theta_{x1} \\ \theta_{y1} \\ \theta_{z1} \end{Bmatrix} \quad (2.23)$$

onde as variáveis com índice 2 são os deslocamentos e rotações da viga e as variáveis com índice 1 são os deslocamentos e rotações da placa. Esta matriz vale para apenas um nó do elemento de viga. Chamando:

$$[T^0] = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & -e_z & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & e_y \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.24)$$

tem-se que a matriz de transformação do elemento de viga $[T]$ pode ser expressa por:

$$[T] = \begin{bmatrix} [T^0] & 0 \\ 0 & [T^0] \end{bmatrix} \quad (2.25)$$

A matriz de rigidez do elemento de viga $[K_i]$ pode ser transformada da seguinte forma:

$$[K_i^T] = [T]^T [K_i] [T] \quad (2.26)$$

onde $[K_i^T]$ é a matriz de rigidez transformada do elemento. Na equação (2.27) apresenta-se a matriz de rigidez de viga tridimensional com excentricidade no eixo y .

$$u_x(x) = u_x - z\theta \quad (2.28)$$

Como a rotação θ é quadrática, então a função $u_x(x)$ também vai ser quadrática, o que torna o deslocamento da viga 01 no eixo da viga 02 também quadrático, o que não é verdade, fazendo com que aconteça a incompatibilidade mostrada pelo autor.

Para exemplificar esse erro adota-se o esquema, ilustrado na Figura 2.2, de duas vigas formando uma seção composta em forma de T, admitindo uma barra engastada em uma extremidade e com uma carga pontual aplicada na outra:

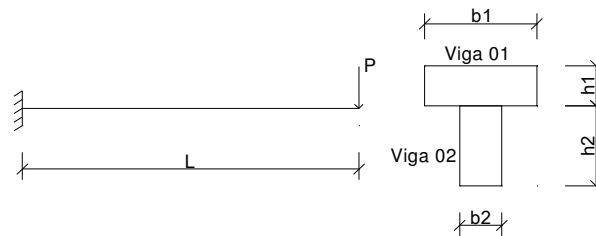


Figura 2.4: Exemplo de uma viga T engastada composta por duas vigas retangulares.

Utilizando a matriz de rigidez de uma viga com excentricidade para representar a Viga 02 e somando com uma viga sem excentricidade para representar a Viga 01. Aplicam-se as condições de contorno do problema, obtém-se (2.29):

$$K^T = E \begin{bmatrix} \frac{12(I_1 + I_2)}{L^3} & \frac{-6(I_1 + I_2)}{L^2} \\ \frac{-6(I_1 + I_2)}{L^2} & \frac{4(I_1 + I_2)}{L^2} + \frac{A_2 a^2}{L} \end{bmatrix} \quad (2.29)$$

onde I_1 e I_2 são as inércias das vigas 1 e 2 respectivamente, L é o comprimento do elemento, A_2 é a área da seção da Viga 02 e a é a excentricidade entre as vigas 01 e 02.

Ao inverter a matriz (2.29) obtém-se:

$$K^{T^{-1}} = \frac{1}{E} \begin{bmatrix} \frac{l^3 [a^2 A_1 A_2 + 4(I_1 + I_2)(A_1 + A_2)]}{12(I_1 + I_2)[a^2 A_1 A_2 + (I_1 + I_2)(A_1 + A_2)]} & \frac{l^2 (A_1 + A_2)}{2[a^2 A_1 A_2 + (I_1 + I_2)(A_1 + A_2)]} \\ \frac{l^2 (A_1 + A_2)}{2[a^2 A_1 A_2 + (I_1 + I_2)(A_1 + A_2)]} & \frac{l (A_1 + A_2)}{a^2 A_1 A_2 + (I_1 + I_2)(A_1 + A_2)} \end{bmatrix} \quad (2.30)$$

Define-se:

$$I^* = I_1 + I_2 + \frac{A_1 A_2 e^2}{A_1 + A_2} \quad (2.31)$$

$$C = \frac{A_1 A_2 e^2}{(A_1 + A_2)(I_1 + I_2)} \quad (2.32)$$

onde I^* é o momento de inércia da seção composta e C pode ser tratado como o termo de erro (pois se seu valor for igual a zero a matriz (2.30) fica exata). Assim:

$$K^{T^{-1}} = \frac{1}{E} \begin{bmatrix} \frac{l^3[C+1]}{3I^*} & \frac{l^2}{2I^*} \\ \frac{l^2}{2I^*} & \frac{l}{I^*} \end{bmatrix} \quad (2.33)$$

voltando à forma matricial do problema tem-se:

$$\begin{Bmatrix} u_{z2} \\ \theta_{z2} \end{Bmatrix} = \frac{1}{E} \begin{bmatrix} \frac{l^3[C+1]}{3I^*} & \frac{l^2}{2I^*} \\ \frac{l^2}{2I^*} & \frac{l}{I^*} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} P_{z2} \\ M_{z2} \end{Bmatrix} \quad (2.34)$$

Gupta (1977) mostrou que o erro dessa formulação diminui com o refinamento na malha.

Miller (1980) sugeriu um elemento de viga com aproximação quadrática para o campo dos deslocamentos axiais, Eq. (2.35), e aproximação com um polinômio do terceiro grau para a flexão, Eq. (2.36). Para utilizar essa aproximação o autor utilizou um nó extra no meio do elemento com liberdade apenas de deslocamento axial.

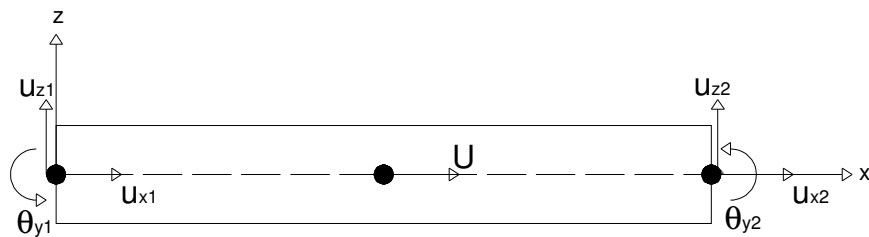


Figura 2.5: Elemento de viga com 7 graus de liberdade

$$u_x = Ax^2 + Bx + C \quad (2.35)$$

$$\{v_2\} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & -e & 0 & 0 \\ -\frac{8EA}{3L} & 1 & 0 & \frac{3e}{2L} & \frac{e}{4L} & -\frac{3e}{2L} & \frac{e}{4L} \\ \frac{EA}{3L} & -\frac{8EA}{3L} & 1 & 0 & 0 & 0 & -e \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \{v_1\} \quad (2.39)$$

onde e é a excentricidade.

Para se fazer a transformação usa-se a Eq. (2.26), note que a matriz de transformação é dada para um elemento com sete graus de liberdade.

Através da condensação estática o elemento com matriz de rigidez com sete graus de liberdade voltará a ter dimensões (6X6). A matriz expandida para esse caso é explicitada em (2.40):

$$\begin{bmatrix} \frac{EA^*}{L} & -\frac{EA^*}{L} & 0 & -\frac{EA_2e}{L} & 0 & \frac{EA_2e}{L} \\ -\frac{EA^*}{L} & \frac{EA^*}{L} & 0 & \frac{EA_2e}{L} & 0 & -\frac{EA_2e}{L} \\ 0 & 0 & \frac{12EI^*}{L^3} & \frac{6EI^*}{L^2} & -\frac{12EI^*}{L^3} & \frac{6EI^*}{L^2} \\ -\frac{EA_2e}{L} & \frac{EA_2e}{L} & \frac{6EI^*}{L^2} & \frac{4EI^A}{L} & -\frac{6EI^*}{L^2} & \frac{2EI^B}{L} \\ 0 & 0 & -\frac{12EI^*}{L^3} & -\frac{6EI^*}{L^2} & \frac{12EI^*}{L^3} & -\frac{6EI^*}{L^2} \\ \frac{EA_2e}{L} & -\frac{EA_2e}{L} & \frac{6EI^*}{L^2} & \frac{2EI^B}{L} & -\frac{6EI^*}{L^2} & \frac{4EI^A}{L} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u_{xi1} \\ u_{xj1} \\ u_{zi1} \\ \theta_{yi1} \\ u_{zj1} \\ \theta_{yj1} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} F_{xi1} \\ F_{xj1} \\ P_{zi1} \\ M_{yi1} \\ P_{zj1} \\ M_{yj1} \end{Bmatrix} \quad (2.40)$$

onde $A^* = A_1 + A_2$, $I^A = I^* + \frac{e^2 A_2}{4A^*}$, $I^B = I^* + \frac{e^2 A_2}{2A^*}$. O vetor de forças tem referencia na viga 01.

2.7 Exemplo de aplicação das matrizes de rigidez.

São mostrados na tabela abaixo a comparação do deslocamento vertical na extremidade livre da viga engastada exemplificada para utilização da excentricidade pela solução clássica, pela solução de Gupta (1977) e Miller (1980) . A Figura 2.6 ilustra o problema:

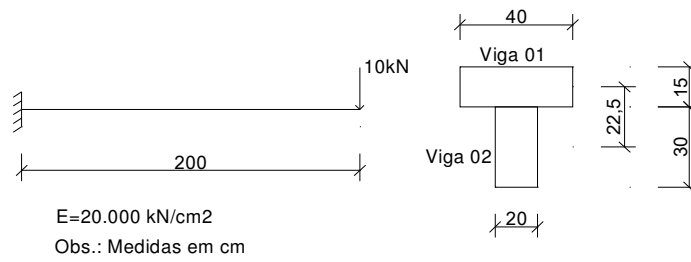


Figura 2.6: Dados Numéricos do problema.

Tabela 2.1: Comparação de valores de flecha na extremidade livre entre os modelos.

Modelo	Numero de elementos			
	1	2	3	4
Clássica	0,06 mm			
GUPTA	0,11 mm	0,07 mm	0,07 mm	0,07 mm
MILLER	0,06 mm	0,07 mm	0,06 mm	0,05 mm

No modelo de Gupta (1977), os valores de C (definido como o fator de erro) foram 0,66, 0,16, 0,07, 0,04. Com quatro elementos chegou-se em uma boa aproximação do problema em relação à solução clássica.

No modelo de Miller (1980), com apenas um elemento o resultado conferiu com a solução clássica e aumentando o número de elementos o valor não foi muito afetado.

3 Descrição dos exemplos

3.1 Introdução

Este capítulo apresenta as hipóteses dos exemplos estudados. O objetivo destas hipóteses é de fazer com que os resultados aqui obtidos sejam representativos ao dia-a-dia dos escritórios de cálculo.

3.2 Considerações de excentricidade nos modelos numéricos adotados

Com base nos estudos bibliográficos pode se verificar que a excentricidade entre o plano médio da placa e o eixo longitudinal da viga é um fator importante na análise estrutural. Esta consideração faz com que os dois elementos trabalhem de forma simultânea, representando de maneira realista a seção “T” formada por esses dois elementos.

Entretanto, na prática de projetos estruturais em escritórios de cálculo, o que se vê é o desprezo desse fator ou a consideração de uma forma simplificada ou implícita (como na adoção de seções T), mesmo que softwares apresentem recursos que admitam o uso deste artifício.

A desconsideração da excentricidade leva a uma rigidez subestimada da estrutura, já que a inércia à flexão dos elementos lineares não recebem nenhuma contribuição da inércia da casca.

Foram idealizados três modelos para as análises dos pavimentos. O primeiro é o modelo concêntrico (Modelo 01), utilizado como controle, e os outros dois os modelos excêntricos. Os modelos excêntricos se diferem em como a viga é representada. No primeiro caso o topo da viga chega ao fundo da laje (Modelo 02) e no segundo o topo da viga alcança o topo da laje (Modelo 03). Um esquema é mostrado na Figura 3.1.

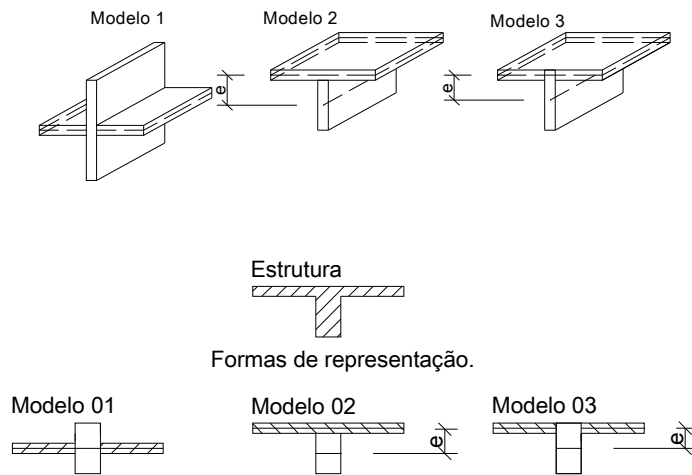


Figura 3.1 - Representação das excentricidades nesse trabalho.

3.3 Considerações para torção de vigas.

Segundo a Norma Brasileira (NBR6118/2003) a resistência à torção deve ser considerada quando esta for necessária para equilíbrio do elemento, como no caso de uma viga que suporta uma marquise. No caso do elemento ter torção de compatibilidade, onde a torção não é essencial para o equilíbrio, ela pode ser desconsiderada. No caso de se utilizar de grelhas ou pórticos tridimensionais para representar os pavimentos dos edifícios no estudo de cargas verticais, a Norma Brasileira de Concreto Armado NBR 61181/2003, recomenda que à rigidez a torção como até 15% da rigidez elástica (reproduzindo o efeito da fissuração).

Neste trabalho, quando necessária a inércia a torção, esta será calculada pelo software ANSYS pelo módulo SECTIONS que calcula as propriedades geométricas de uma seção dada às dimensões e fornece a inércia à torção (Torsional Constant).

3.4 Apoios

Neste trabalho foram estudados modelos de estruturas tridimensional, com elementos lineares e de casca, portanto, os apoios foram modelados como pilares engastados na base. Porém o valor do pé-direito foi duplicado considerando rigidez equivalente de $2EI/L$. Esta consideração foi utilizada por Dias (2003) e também

admitida neste trabalho para representar a plastificação dos pilares em cinquenta por cento.

3.5 Trechos Rígidos.

No caso de pilares de grandes dimensões pode-se optar pela adoção de trechos rígidos no sentido longitudinal da viga que cheguem até a face do pilar. Em casos mais conservadores é interessante utilizar diretrizes da norma.

A adoção de trechos rígidos é feita de acordo com a Norma Brasileira NBR6118/2003 mostrado na Figura 3.2:

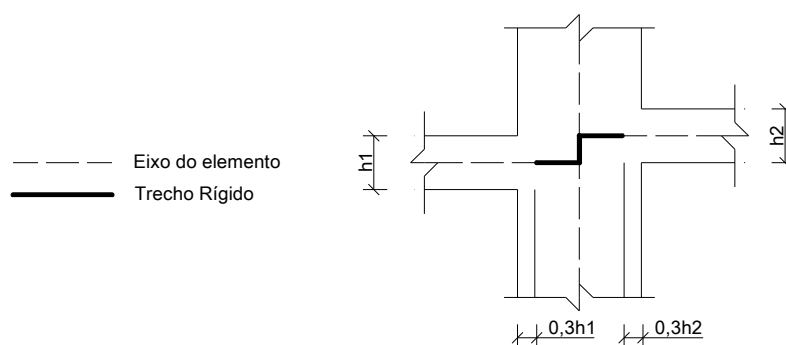


Figura 3.2: Definição dos trechos rígidos (NBR 6118/2003).

3.6 Materiais.

O material utilizado será o concreto armado no regime elástico, e suas características são adotadas conforme prescrições da Norma Brasileira de Concreto Armado NBR6118/2003 que são:

$$E_{ci} = 5600f_{ck}^{1/2} \quad (3.1)$$

$$E_{cs} = 0,85E_{ci} \quad (3.2)$$

$$G_c = 0,40E_{cs} \quad (3.3)$$

$$\nu = 0,20 \quad (3.4)$$

onde:

E_{ci} : Módulo de Elasticidade Tangente (MPa).

f_{ck} : Resistência a compressão do concreto (MPa).

E_{cs} : Módulo de Elasticidade Secante (MPa).

G_c : Módulo de Elasticidade Transversal (MPa).

ν : Coeficiente de Poisson.

No pavimento real, a não-linearidade física e geométrica foi adotada com o uso dos coeficientes de redução de inércia recomendados pela Norma Brasileira NBR 6118/2003.

3.7 Elementos adotados

Para os estudos feitos neste trabalho foram adotados elementos disponíveis na biblioteca do software ANSYS que fossem de acordo com as hipóteses aqui adotadas.

Para representar elementos lineares sem excentricidade foi utilizado o elemento BEAM4, as vigas com excentricidade foram representadas pelo elemento BEAM44. Os dois elementos lineares descritos possuem dois nós e seis graus de liberdade por nó, sendo três translações e três rotações. Os dois elementos foram desenvolvidos para vigas que não apresentam deformações por cisalhamento.

Estes elementos fornecem os deslocamentos, e os esforços, axiais, torção e momento fletor.

As lajes são representadas pelo elemento de casca SHELL63 que é capaz de modelar estruturas finas e não apresenta deformações por cisalhamento. Este elemento é quadrilateral com seis graus de liberdade por nó compatível com o elemento de viga adotado.

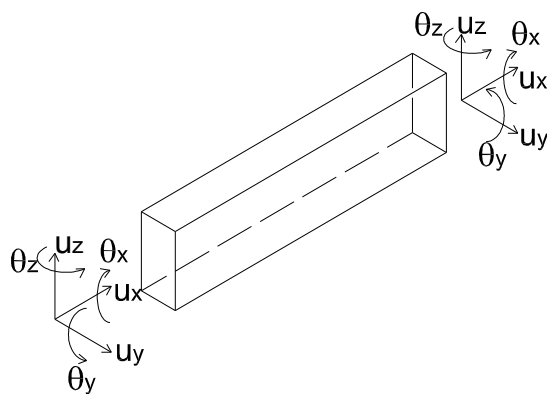


Figura 3.3: Representação dos graus de liberdade do elemento de viga.

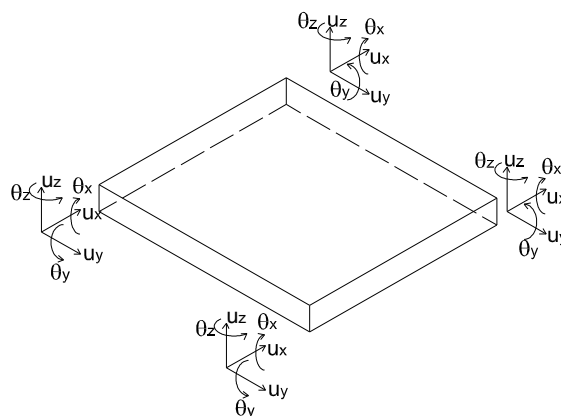


Figura 3.4: Representação dos graus de liberdade do elemento de casca.

4 Validação de modelos no software Ansys.

4.1 Introdução

Esta seção apresenta exemplos encontrados na literatura e que foram analisados no software ANSYS admitindo as hipóteses e considerações que foram utilizadas nesse trabalho.

O objetivo é verificar a validade dessas considerações com os modelos teóricos experimentados.

4.2 Placas suportadas por vigas no contorno e apoios rígidos nos cantos.

É apresentado um problema de placa com apoios elásticos na borda e apoio rígido nos vértices e a comparação de resultados entre o modelo analítico apresentado por Timoshenko (1959) e os modelos pelo Método dos Elementos Finitos.

O modelo estudado é uma placa apoiada em apoios elásticos (vigas) e apoios rígidos nos vértices. As dimensões e características do problema são mostradas na Figura 4.1:

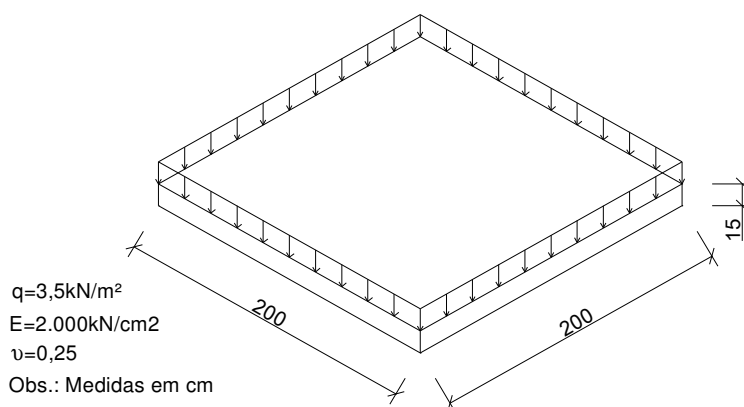


Figura 4.1: Esquema do modelo de placa adotado para os problemas.

Pela solução analítica tem-se que a flecha máxima de uma placa é dada por:

$$w = \alpha \frac{q a^4}{D} \quad (4.1)$$

Onde w é a flecha, α é determinado por tabelas, através do coeficiente γ mostrado abaixo:

$$\gamma = \frac{EI}{aD} \quad (4.2)$$

onde EI é a rigidez dos apoios, a é o lado da placa e D é a rigidez da placa definida por:

$$D = \frac{Eh^3}{12(1-\nu^2)} \quad (4.3)$$

Os apoios elásticos (ou vigas) possuem dimensões 15X30 cm e são do mesmo material da placa. Foram utilizados elementos de 25x25cm para a malha da placa com elementos SHELL63, e para as vigas foram utilizados elementos BEAM44. O valor calculado de γ foi de 0,576 obtendo-se $\alpha = 4,05$.

Tabela 4.1: Flechas de placas com apoios dos cantos.

	Solução analítica (cm)	M.E.F. (cm)			Erro (%)		
		Modelo 01	Modelo 02	Modelo 03	Modelo 01	Modelo 02	Modelo 03
Centro da placa	0,01087	0,0103	0,0091	0,0083	5,53%	19,45%	30,96%
Centro da viga	-	0,0053	0,0035	0,0035	0,00%	51,43%	51,43%

Pode-se perceber que a diferença de deslocamentos no centro da placa no modelo concêntrico é pequena, e que para o modelo excêntrico a diferença passa a ser substancial. Quando se compara os deslocamentos no centro da viga entre o Modelo 01, concêntrico, e os modelos excêntricos ficam evidentes os erros que se cometidos em não se considerar a excentricidade na ligação placa-viga.

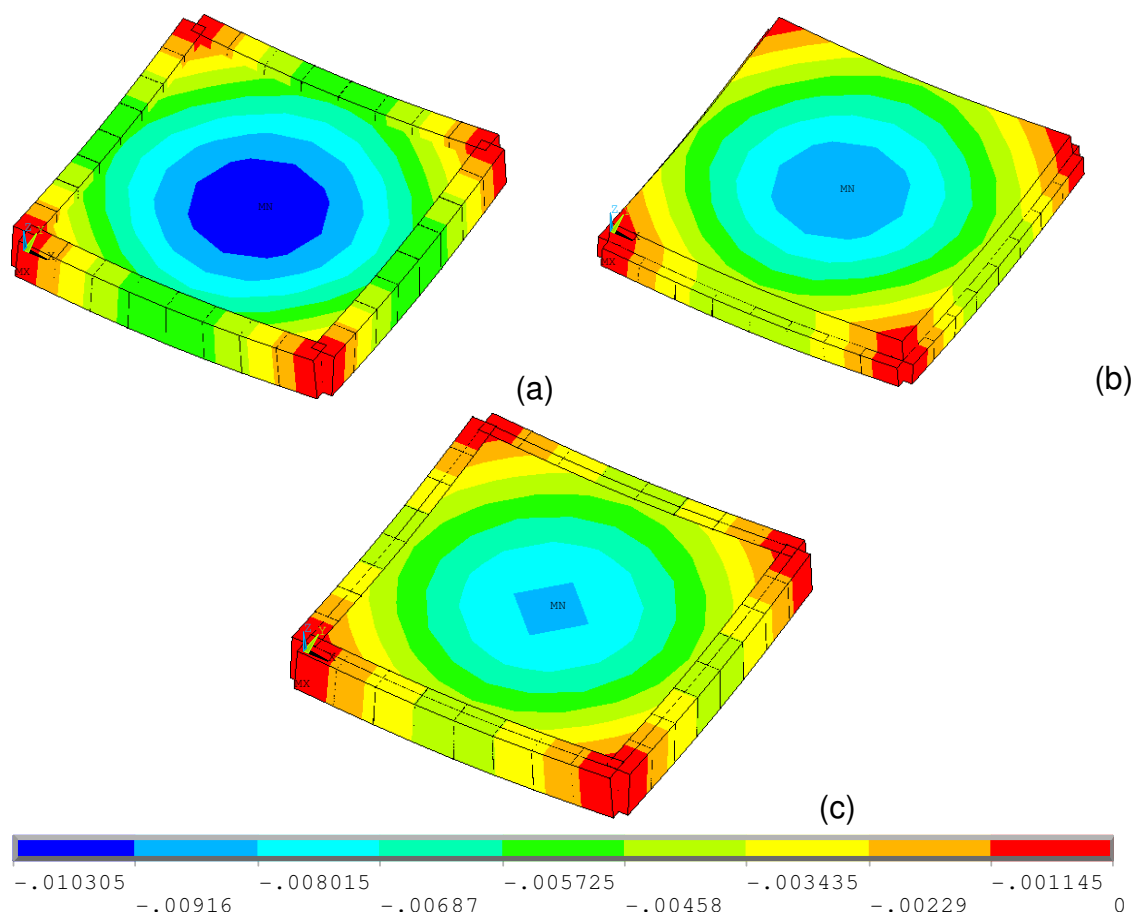


Figura 4.2: Placa com apoios elásticos no contorno e apoios rígidos nos cantos.

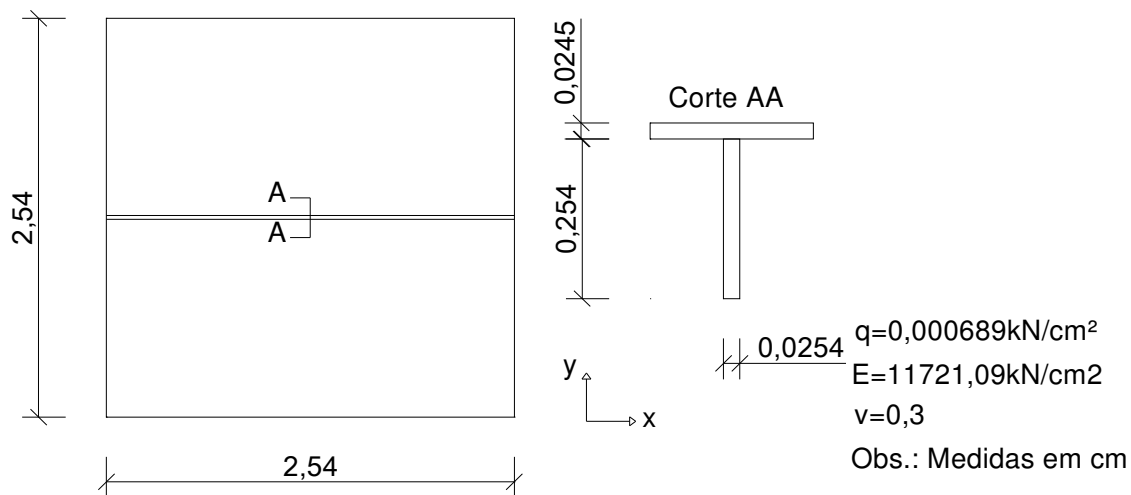
A Figura 4.2 mostra os deslocamentos nas placas do Modelo 01 (a), Modelo 02 (b) e Modelo 03 (c), a escala de cores é a mesma para todos os desenhos, e a barra indica os valores representados. Notam-se reduções expressivas nos modelos excêntricos em relação ao concêntrico.

4.3 Cascas com enrijecedores.

4.3.1 Casca com enrijecedor central.

Para a avaliação de casca com enrijecedores em seu domínio foi tomado o exemplo usado por Rossow et al. (1978), na validação do método das restrições. Este exemplo também foi utilizado no trabalho de Tanaka et al. (1998) utilizando o método dos elementos de contorno. O modelo consiste em uma casca quadrada simplesmente apoiada em todos os lados com um enrijecedor no meio do vão.

Os dados do problema são apresentados na Figura 4.3.



Na discretização do problema foi utilizado o elemento SHELL63 para a casca, e os elementos lineares com deslocamentos tridimensionais BEAM4 e BEAM44 para o enrijecedor. A malha usada foi de 10X10 elementos. Os deslocamentos são medidos no meio da casca. A Tabela 4.2 apresenta os valores encontrados por outros autores e apresentados os utilizando os modelos no neste trabalho.

Tabela 4.2: Deslocamentos verticais no meio de vão de uma casca com enrijecedor central (medidas em cm).

Referencia	Análise concêntrica	Análise excêntrica
Rossow	0,001157	0,00035
Tanaka	0,001147	0,00031
Modelo 1	0,00114	-
Modelo 2	-	0,00035
Modelo 3	-	0,00035

Nota-se que os deslocamentos dos modelos são bem coerentes com os encontrados na literatura, ainda que utilizando métodos distintos. A diferença entre os modelos excêntricos propostos neste trabalho foi quase nula porque a espessura da casca é quase nula quando comparada com a excentricidade. A maior diferença encontrada foi entre o Modelo 03 e o de Tanaka et al. (1998) com erro de 12,90%. No caso das análises concêntricas, a maior discrepância foi entre o Modelo 01 e o proposto por Rossow et al. (1978) com erro de 1,47%.

Fica evidente a diferença entre os deslocamentos quando se compara o modelo concêntrico com os excêntricos. O deslocamento do Modelo 01 (a) é em

torno de 184% maior que o Modelo 03 (c). Isto mostra o erro que se comete quando não se considera a excentricidade da estrutura.

Os modelos excêntricos e concêntricos apresentam boa concordância de resultados. Na Figura 4.4 abaixo temos um esquema de deslocamento dos três modelos. Utilizando a mesma escala de cores, fica evidente que os modelos excêntricos apresentam grande diferença de deslocamento.

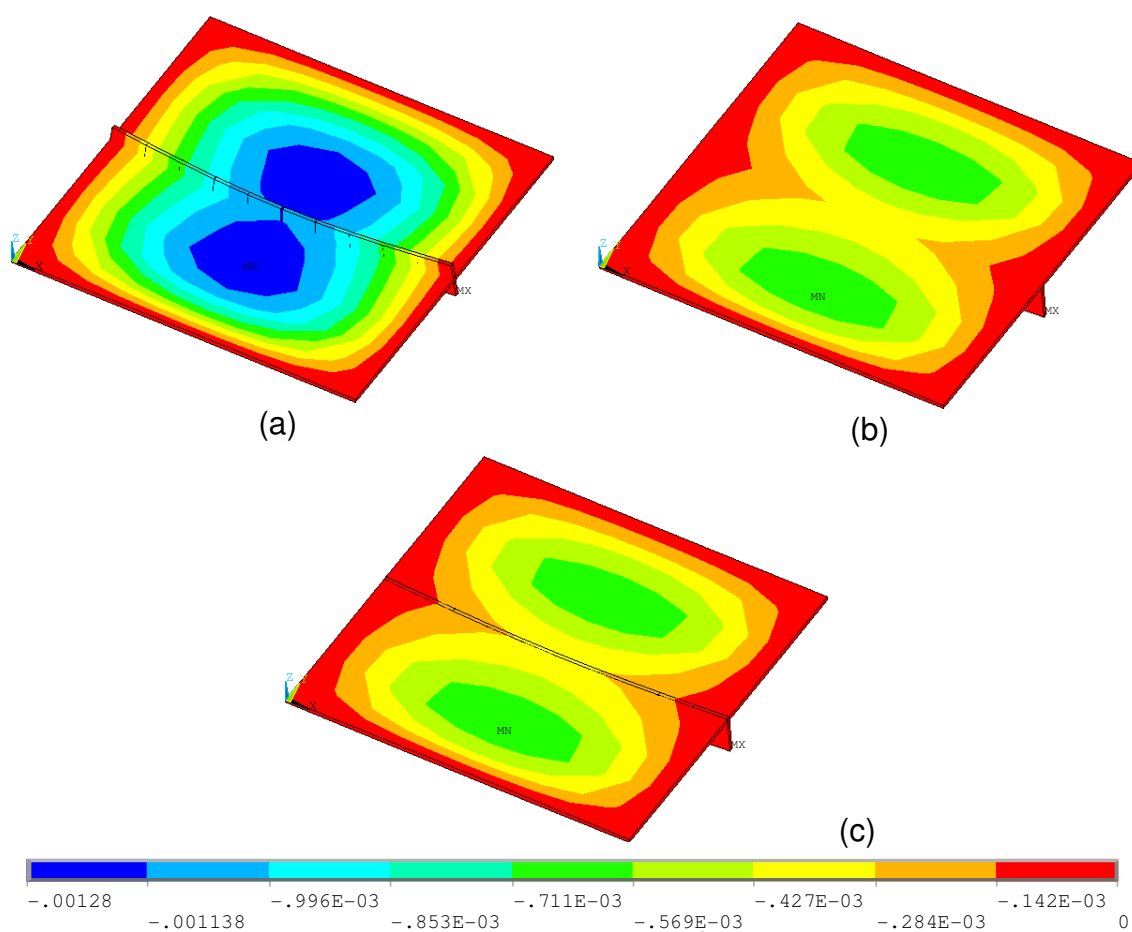


Figura 4.4: Comparação de deslocamentos dos três modelos com um enrijecedor.

4.3.2 Modelo de casca com enrijecedores em cruz.

Este exemplo é baseado em Rossow et al. (1978), este também utilizando o Método das Restrições e com duas nervuras no domínio da casca. A comparação de resultados será feita com base no trabalho de Rossow et al. (1978) e de Bedair (1997) que utilizou programação seqüencial quadrática para resolver o problema de cascas com enrijecedores. Os dados do problema são mostrados na Figura 4.5:

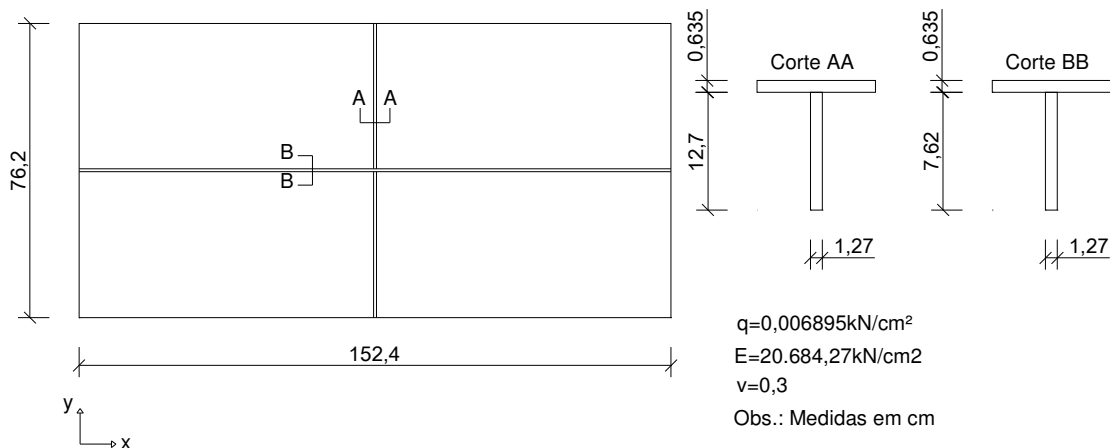


Figura 4.5: Dados do exemplo com enrijecedores cruzados.

Para a modelagem foi utilizado o elemento SHELL63 para a casca, e os elementos lineares com deslocamentos tridimensionais BEAM4 e BEAM44 para o enrijecedor. A malha da casca foi adotada com 40X20 elementos. Os deslocamentos são medidos no centro da casca. Segue a tabela com os valores encontrados por outros autores e no modelo apresentado no presente trabalho.

Tabela 4.3: Deslocamentos verticais no centro de uma casca com enrijecedores em cruz e carregamento distribuído uniforme (medidas em cm).

Referencia	Análise concêntrica	Análise excêntrica
ROSSOW	0,06122	0,02245
BEDAIR	0,06096	0,02032
Modelo 1	0,06099	-
Modelo 2	-	0,02183
Modelo 3	-	0,02148

Nota-se uma boa conformidade entre os resultados dos modelos testados e os resultados dos modelos de referencia, com um erro máximo de 0,38% para o modelo concêntrico e 7,43% para o modelo excêntrico. Pode ser verificada uma concordância entre os modelos 02 e 03 deste trabalho com erro de 1,60%. Nota-se também que o terceiro modelo é o mais rígido.

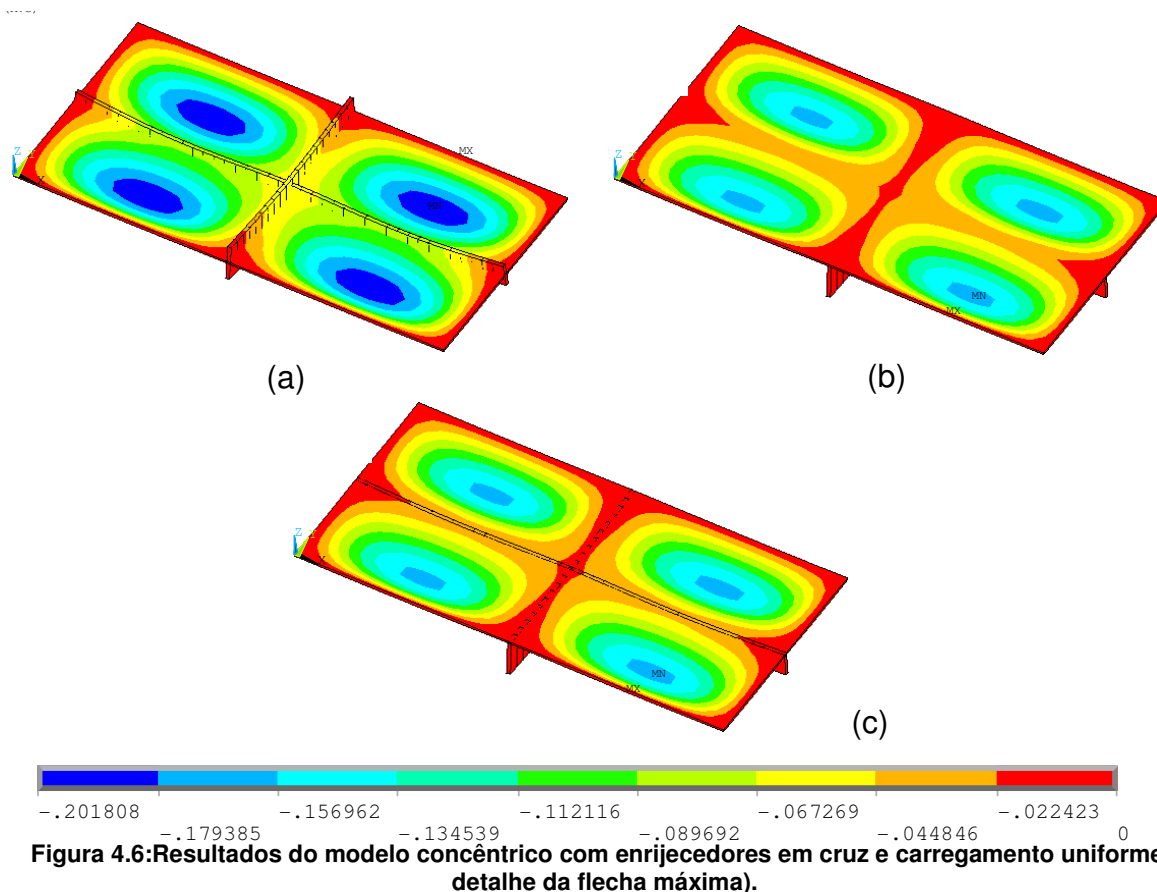


Figura 4.6: Resultados do modelo concêntrico com enrijecedores em cruz e carregamento uniforme (detalhe da flecha máxima).

Na Figura 4.6 são apresentados os deslocamentos verticais na casca dos três modelos aqui estudados. A escala de cores é a mesma para os três desenhos. Podem-se perceber grandes diferenças de valores nas flechas entre os modelos excêntricos e o concêntrico.

Nos dois exemplos estudados acima, fica evidente a diferença de deslocamentos entre o modelo concêntrico e os excêntricos em todo o domínio das cascas, esta chegando a 183,94%. Portanto, a consideração da excentricidade na ligação laje-viga pode ser um fator importante no calculo de estruturas.

O modelo anterior também foi testado com uma carga concentrada no centro da casca de módulo 4,4482kN. E então, foram comparados os resultados dos mesmos trabalhos do exemplo anterior. Os resultados são mostrados na seqüência:

Tabela 4.4: Deslocamentos verticais no centro de uma casca com enrijecedores em cruz e carregamento concentrado (medidas em cm).

Referencia	Análise concêntrica	Análise excêntrica
ROSSOW	0,0088	0,0032
BEDAIR	0,0085	0,0028
Modelo 1	0,0088	-
Modelo 2	-	0,0031
Modelo 3	-	0,003

O maior erro encontrado entre os modelos concêntricos foi de 3,53%, o que é uma boa concordância. Para o caso dos modelos excêntricos foi obtido erro de 10,71% entre os valores mais discrepantes, que são entre o modelo 02 e o proposto por Bedair, (1997). Entre os modelos estudados neste trabalho o erro foi de 3,33%, sendo que o Modelo 03 é o mais rígido. O erro encontrado entre os modelos excêntricos e o concêntrico foi de 193,33%.

Seguem os esquemas de deslocamentos do exemplo, utilizando a mesma escala de cores e evidenciando as diferenças de resultados entre o modelo concêntrico (a) e os excêntricos (b) e (c):

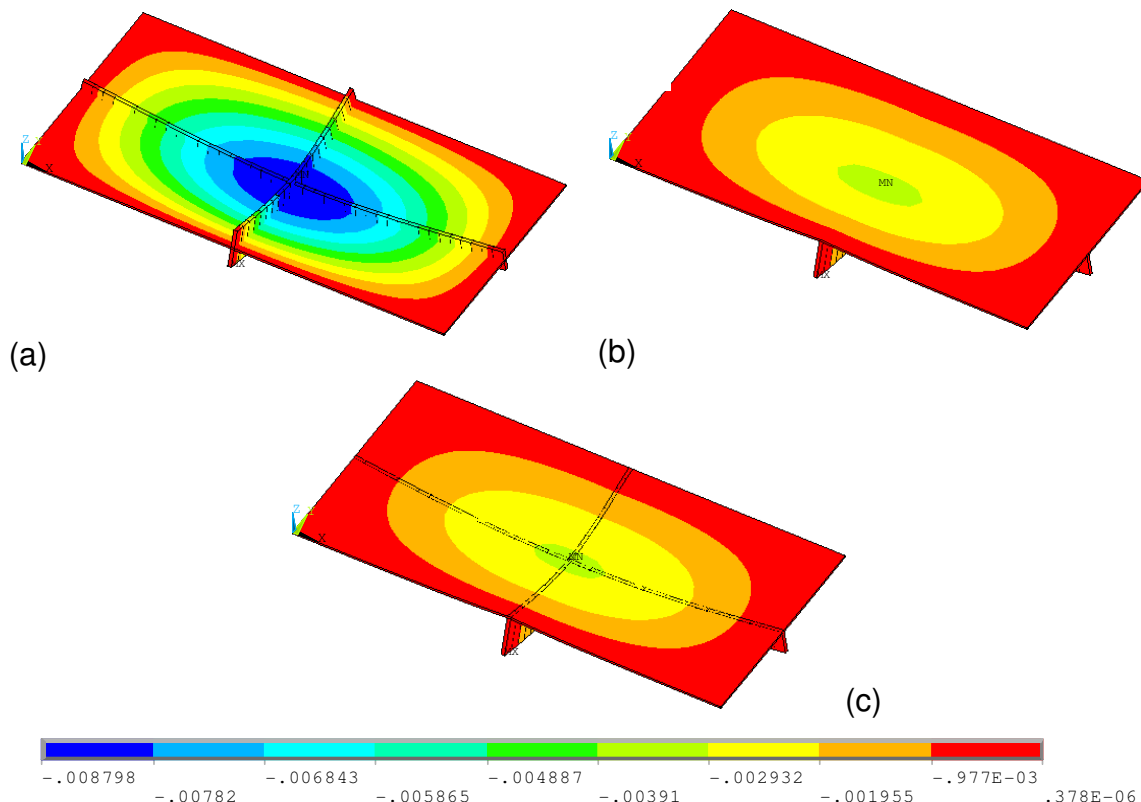


Figura 4.7: Resultados do modelo 1 excêntrico com enrijecedores em cruz e carregamento concentrado (detalhe da flecha máxima).

4.3.3 Variação da altura do enrijecedor:

Sapountzakis et al. (2000) Utilizaram o Método da Equação Análoga (AEM) para estudar o comportamento de cascas enrijecidas com nervuras. O autor demonstra que na sua formulação, os deslocamentos laterais e as deformações no plano da casca não foram negligenciados. Foram abordados dois problemas: sendo o primeiro de uma casca com um único enrijecedor central e as bordas menores simplesmente apoiadas (variando a altura do enrijecedor), e a mesma casca com todas as bordas simplesmente apoiadas.

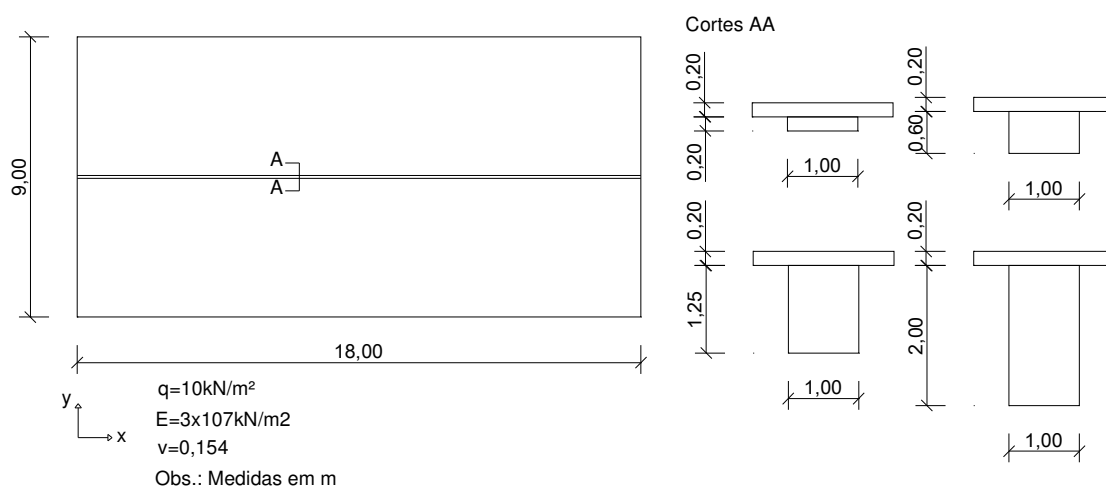


Figura 4.8: Dados do problema proposto por Sapountzakis (2000).

Na análise deste problema via Método dos Elementos Finitos as inércias lateral e a torção foram consideradas integrais, ou seja, sem coeficientes de redução. Os elementos utilizados na discretização foram os BEAM44 e SHELL63 com malha de 10X20 elementos na casca e 20 elementos de barra.

Na Tabela 4.5 são apresentados os deslocamentos verticais no centro da casca (P01) e no centro da borda (P02) do caso com as bordas menores simplesmente apoiadas.

Tabela 4.5: Deslocamentos verticais no centro da casca (P01) e no meio da borda livre (P02) problema 01 (medidas em m).

	AEM		Modelo 01		Modelo 02		Modelo 03	
	P01	P02	P01	P02	P01	P02	P01	P02
h=0,00	0,624	0,64	0,6708	0,6927	-	-	-	-
h=0,20	0,0665	0,083	0,6046	0,6264	0,3031	0,3248	0,284	0,3056
h=0,60	0,0077	0,0274	0,1695	0,191	0,0472	0,0687	0,045	0,0665
h=1,25	0,0012	0,021	0,0242	0,0456	0,0081	0,0296	0,008	0,0295
h=2,00	0,0003	0,0202	0,0061	0,0275	0,0026	0,0241	0,0025	0,0239

A Tabela 4.6 mostra os valores dos deslocamentos verticais no centro da casca do exemplo em que todas as bordas estão simplesmente apoiadas.

Tabela 4.6: Deslocamentos no centro da casca problema 02 (medidas em m).

	AEM	Modelo 01	Modelo 02	Modelo 03
h=0,00	0,032	0,0322	-	-
h=0,20	0,0195	0,032	0,0299	0,0297
h=0,60	0,0042	0,0268	0,0161	0,0157
h=1,25	0,0007	0,0106	0,0045	0,0043
h=2,00	0,0002	0,0034	0,0016	0,0015

Pode-se perceber que pelo simples fato de existir a nervura na casca os métodos já começam a divergir. Isto ocorre devido à diferença entre a formulação de Sapountzakis, et al.,(2000) e o Método dos Elementos Finitos. Porém fica notável a redução dos deslocamentos quando se considera a excentricidade no modelo.

4.3.4 Casca com enrijecedores em duas bordas.

Allen et al. (1961) apresentaram soluções em séries para lajes retangulares de espessura constante e apoiada em vigas idênticas em lados opostos. Como exemplo, foi analisado uma casca com enrijecedores em duas bordas e simplesmente apoiada nas outras duas. Na formulação foram consideradas a resistência a torção das vigas. O modelo proposto foi validado com ensaios de seis cascas de Araldite com as condições de contorno citadas.

O exemplo possui três configurações, com diferentes alturas de enrijecedores e espessuras de casca. Foram utilizadas duas configurações de carregamento. A primeira com carregamento concentrado no meio do vão das vigas

(W), e a segunda um carregamento uniforme (Q) na casca associado a um carregamento constante nas vigas (P).

A Tabela 4.7 apresenta os valores de cargas, e a Tabela 4.8 as dimensões do problema e a Figura 4.9 um desenho esquemático do problema.

Tabela 4.7: Carregamentos das lajes do modelo ALLEN & SEVERN (1961) apud DIAS (2003).

Laje	W(kN)	Q(kN/cm ²)	P(kN/m)
Laje 01 C01	0,17723	-	-
Laje 01 C02	-	0,000678	0,000309
Laje 02 C01	0,17723	-	-
Laje 02 C02	-	0,000678	0,000309
Laje 03 C01	0,17723	-	-
Laje 03 C02	-	0,000678	0,000309

Tabela 4.8: Dimensões das lajes do modelo ALLEN & SEVERN (1961) apud DIAS (2003).

Laje	a(cm)	bw(cm)	h(cm)	l(cm)	hf(cm)
Laje 01	13,86	0,452	1,91	13,178	0,445
Laje 02	13,86	0,452	1,524	13,178	0,445
Laje 03	13,86	0,452	1,91	13,178	0,318

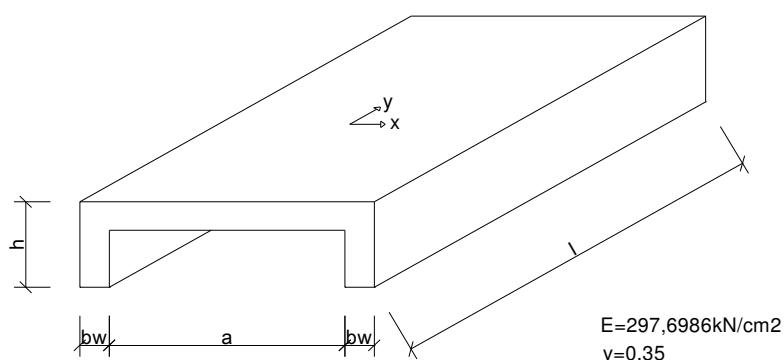


Figura 4.9: Esquema do modelo (Allen, et al., 1961).

Os elementos utilizados na análise são o SHELL63 e o BEAM44, com 900 elementos de casca e 60 elementos de viga.

A Tabela 4.9 compara os valores das flechas do meio de vão das vigas obtidos pelos ensaios e análise numérica de Allen et al. (1961) e o presente trabalho.

Tabela 4.9: Deslocamento no meio de vão das vigas (cm)

Laje e carregamento	ALLEN & SEVERN (1961)		ESTE TRABALHO		
	Ensaio	Numérico	Modelo 01	Modelo 02	Modelo 03
Laje 01-C01	0,0533	0,0507	0,0908	0,0583	0,0534
Laje 01-C02	-	0,0086	0,0159	0,0101	0,0093
Laje 02-C01	0,0711	0,0776	0,1601	0,1082	0,0999
Laje 02-C02	-	0,0166	0,0277	0,0187	0,0173
Laje 03-C01	0,0584	0,0526	0,0983	0,0689	0,0566
Laje 03-C02	-	0,0096	0,0179	0,0123	0,0103

Analisando a Tabela 4.9 pode-se perceber que para a Laje 01-C01 o modelo 3 foi o que mais se aproximou do resultado experimental com diferença de 0,19% e que o modelo concêntrico divergiu em 70,36%. O Modelo 03 foi o que mais se aproximou do resultado numérico da Laje 01-C02 com diferença de 8,14%. Para a Laje 02-C01 houve discrepância entre os valores dos modelos deste trabalho e o experimental, sendo que o Modelo 03 foi o que mais se aproximou do resultado com 28,74% de diferença. Já para Laje 02-C02 o erro foi de 4,04% entre o Modelo 03 e o resultado numérico. Na Laje 03-C01 o Modelo 03 foi o que mais se aproximou do resultado experimental, com diferença de 3,08% e para a Laje 03-C02 o erro foi de 6,78%. Em todos é possível perceber que dos modelos excêntricos o Modelo 03 é o mais rígido e se aproxima mais dos modelos ensaiados.

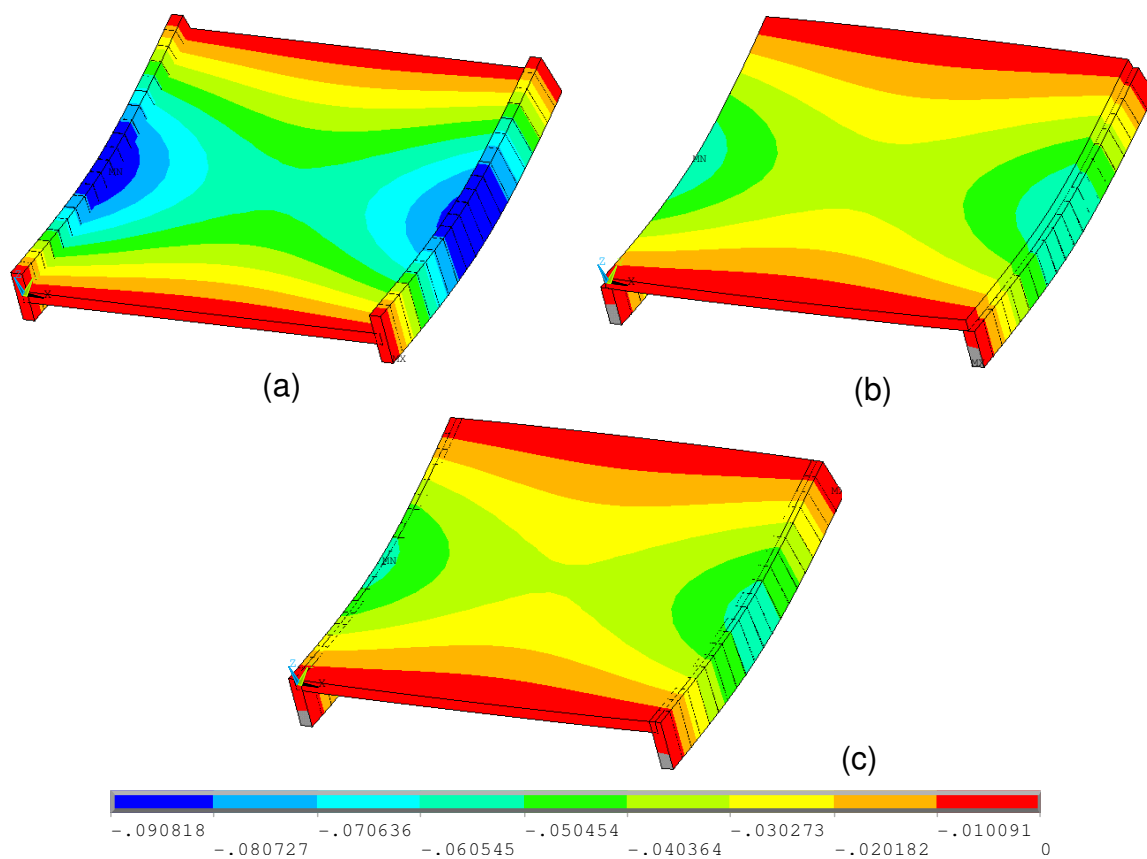


Figura 4.10: Deslocamentos Laje 01 carregamento 01.

A Figura 4.10 apresenta os deslocamentos da laje 01 modelo de carregamento concentrado no meio de vão das vigas. Como mostrado o modelo concêntrico (a) apresenta deslocamentos superiores aos modelos excêntricos (b) e (c).

A Figura 4.11 mostra, na mesma escala de cores, os deslocamentos da laje 01 com os carregamentos distribuídos na laje a nas vigas. O valor máximo é mais próximo entre o modelo concêntrico (a) e os modelos excêntricos (b) e (c). Porém, nos modelos excêntricos esses deslocamentos ficam mais concentrados, e os deslocamentos nas vigas são menores.

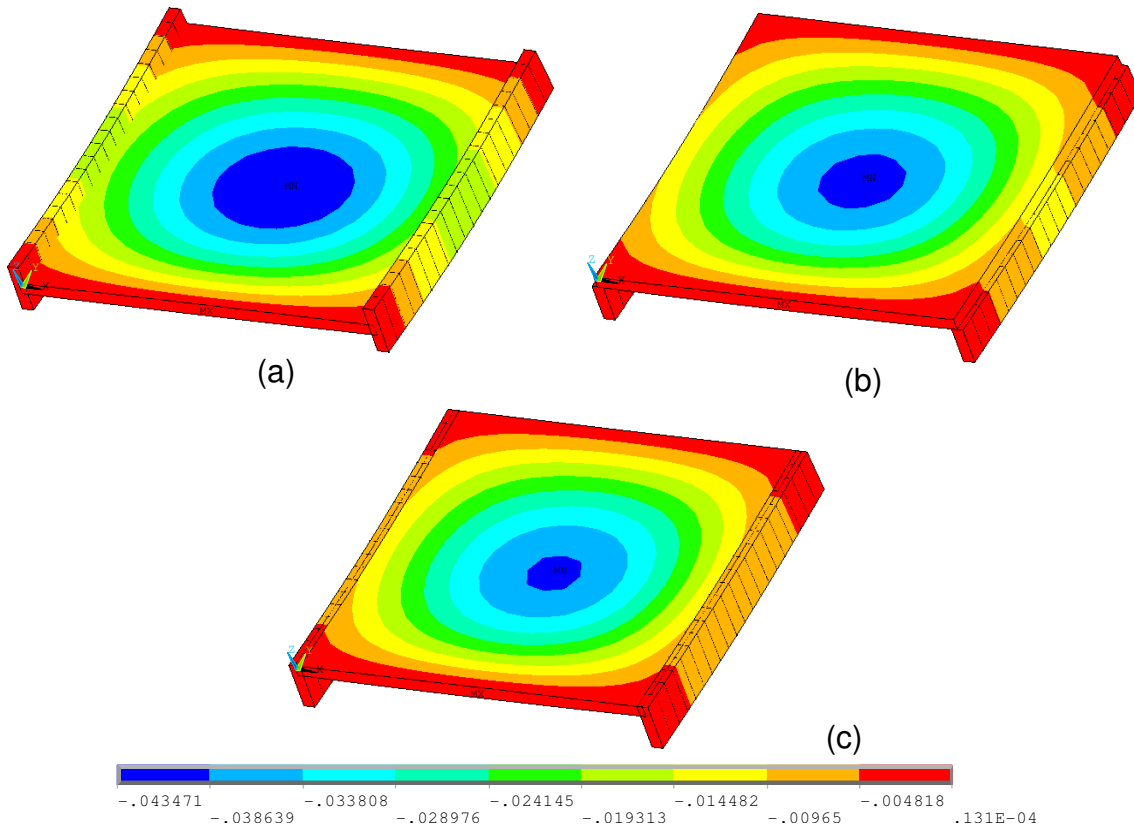


Figura 4.11: Deslocamentos Laje 01 carregamento 02.

Como mostrado nos outros exemplos, as lajes excêntricas (b) e (c) da Figura 4.12 apresentam deslocamentos inferiores aos da casca concêntrica (a).

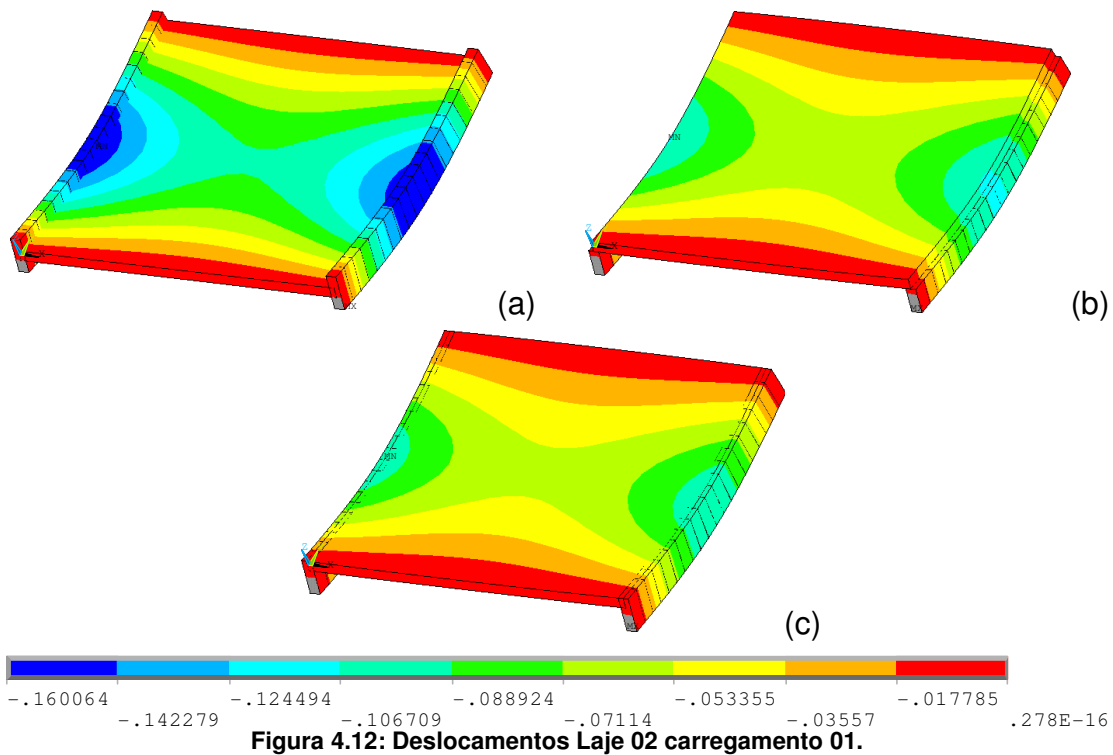


Figura 4.12: Deslocamentos Laje 02 carregamento 01.

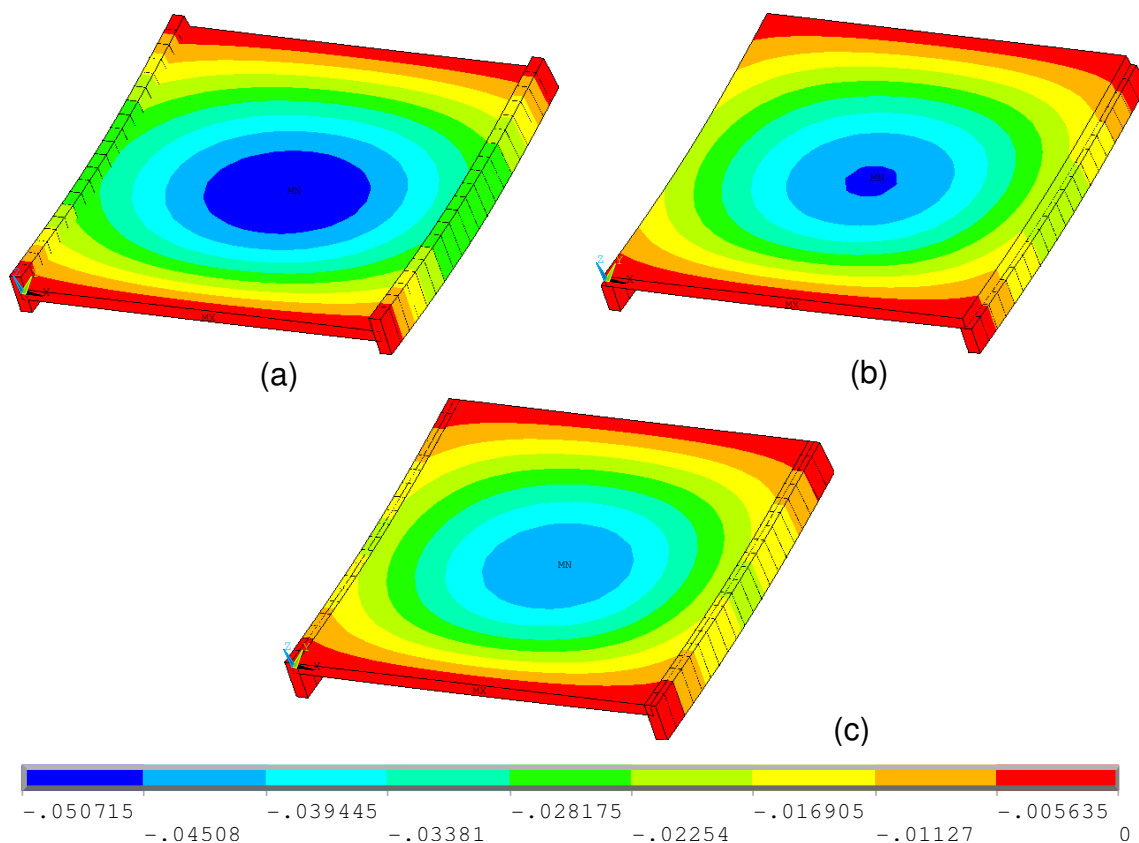


Figura 4.13: Deslocamentos Laje 02 carregamento 02.

Na segunda laje com cargas distribuídas apresentada na Figura 4.13 as diferenças de valores nos deslocamentos são grandes entre o modelo concêntrico (a) e os modelos excêntricos (b) e (c).

A laje 03 com carregamentos concentrados (Figura 4.14) apresentou grandes diferenças de deslocamentos verticais entre os modelos excêntricos (b) e (c) e o concêntrico (a). No centro da casca fica visível que os deslocamentos são muito menores nos modelos excêntricos.

A Figura 4.15 da laje 03 com carregamentos distribuídos apresentou nos modelos excêntricos (b) e (c) uma distribuição de deslocamentos um tanto diferente do modelo concêntrico (a). Porém é perceptível que nas vigas os deslocamentos foram bem menores nos modelos excêntricos.

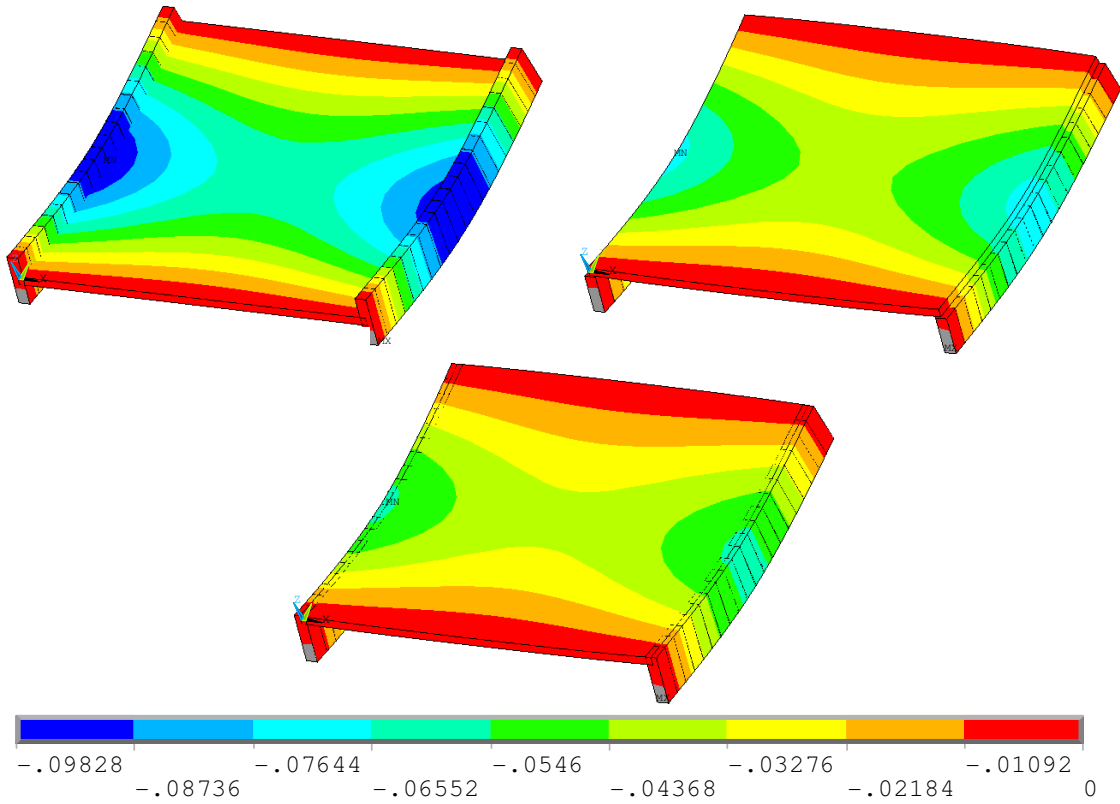


Figura 4.14: Deslocamentos Laje 03 carregamento 01.

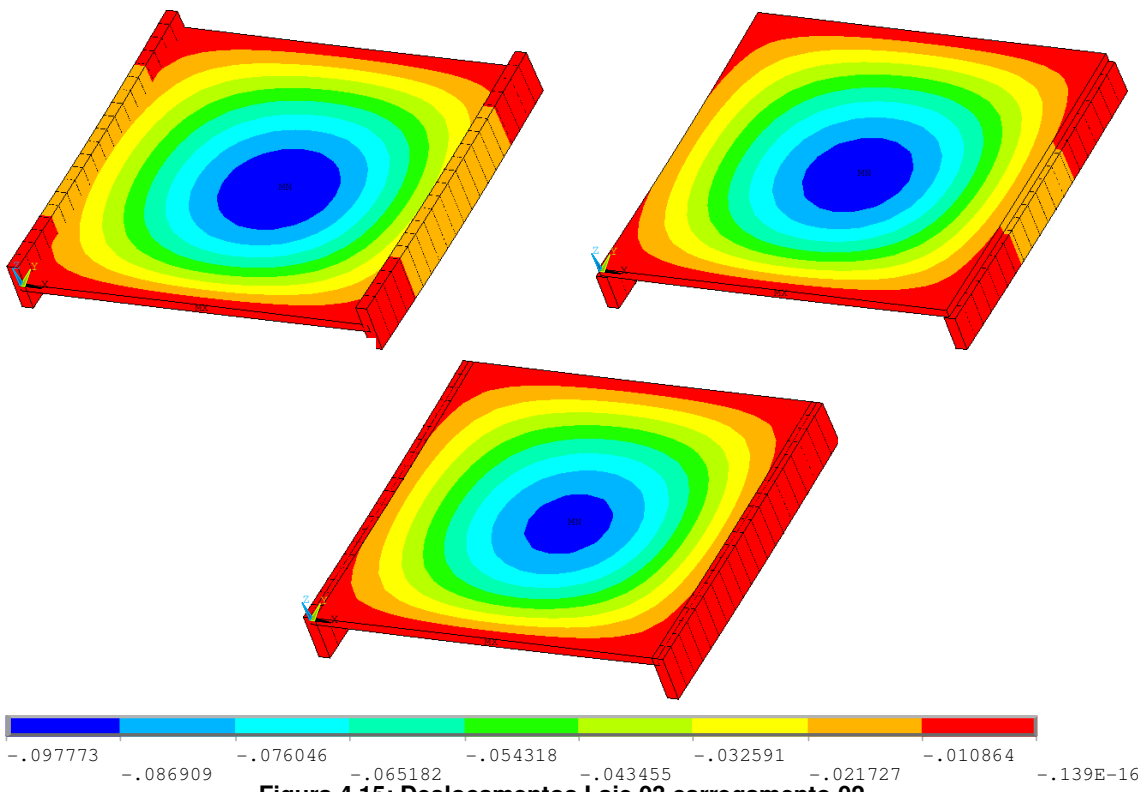


Figura 4.15: Deslocamentos Laje 03 carregamento 02.

5 Experimentações numéricas deste trabalho.

5.1 Introdução

Este capítulo apresenta dois exemplos numéricos, um pavimento quadrado e um pavimento real de edifício.

O primeiro pavimento é uma laje nervurada quadrada com dimensões usuais. As nervuras são retiradas pouco a pouco até chegar a um pavimento com poucas vigas. O objetivo desta análise é observar o comportamento do pavimento quando se retiram as nervuras e verificar se em algum ponto a excentricidade pode passar ser um fator irrelevante na análise estrutural.

O segundo pavimento é um edifício real, que já foi executado, e que foi estudado para verificar o efeito da excentricidade em um pavimento usual com poucas vigas.

Nestes exemplos foram analisados tanto os esforços como os deslocamentos.

5.2 Pavimento quadrado

Este primeiro exemplo foi proposto por Dias (2003). Consiste num pavimento de laje nervurada, mostrado na Figura 5.1. No presente trabalho as nervuras foram retiradas pouco a pouco até chegar-se pavimento da Figura 5.8.

Em Dias (2003), a variação de quantidade de nervuras, e a variação da quantidade das mesmas, levava a dimensões diferentes de pavimento.

Neste trabalho, as dimensões do pavimento foram as mesmas, visto que só foram retiradas as nervuras.

As características geométricas do problema são descritas na Tabela 5.1. As características para o material concreto armado no regime elástico, com $f_{ck}=25\text{MPa}$, baseadas na Norma Brasileira de Concreto Armado NBR6118/2003. As densidades das malhas são apresentadas na Tabela 5.3.

A rigidez à torção das vigas (I_t) foi desprezada, de acordo com a Norma Brasileira NBR 6118/2003, já que neste exemplo a torção não é necessária para o equilíbrio da estrutura. As lajes são admitidas com o valor de rigidez a torção integral para melhorar a compatibilização de deslocamentos e distribuição de esforços como concluiu Parsekian (1996).

Como os modelos das estruturas analisadas são tridimensionais, os apoios são representados por pilares com o dobro do pé direito do pavimento. Esta admissão foi feita por Dias (2003).

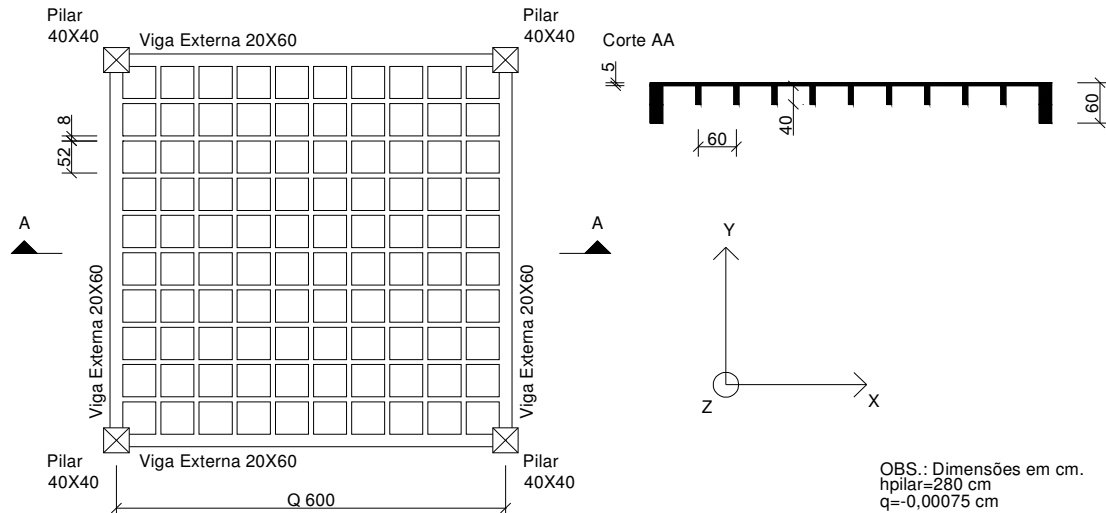


Figura 5.1: Desenho esquemático do pavimento 01 analisado (DIAS, 2003) nº de nervuras=9.

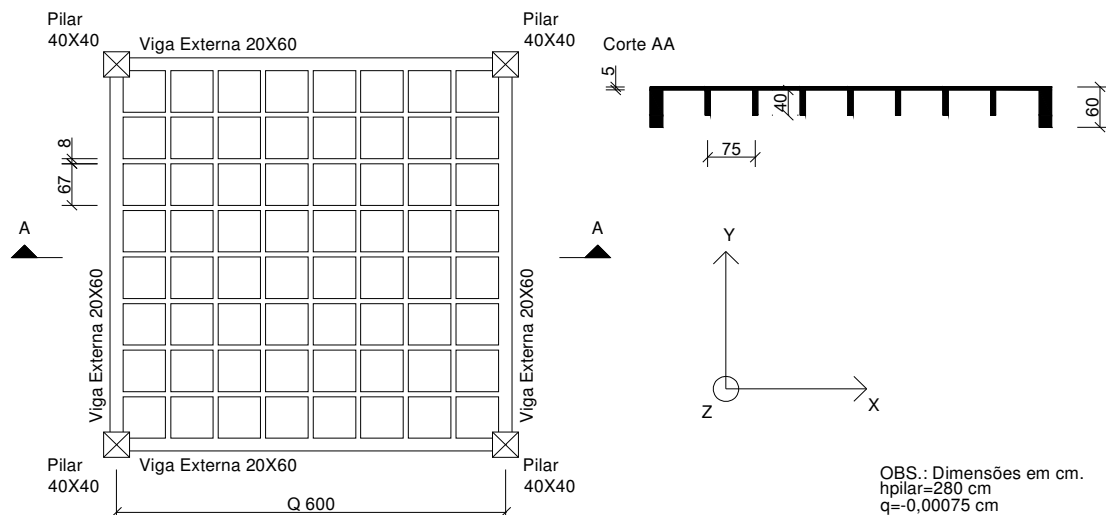


Figura 5.2: Desenho esquemático do pavimento 01 analisado nº de nervuras=7.

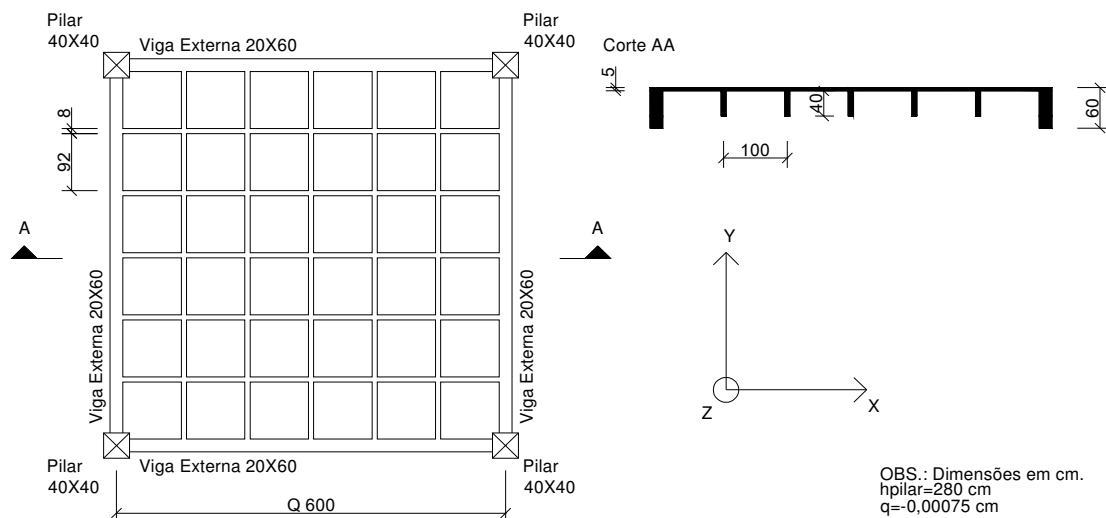


Figura 5.3: Desenho esquemático do pavimento 01 analisado n° de nervuras=5.

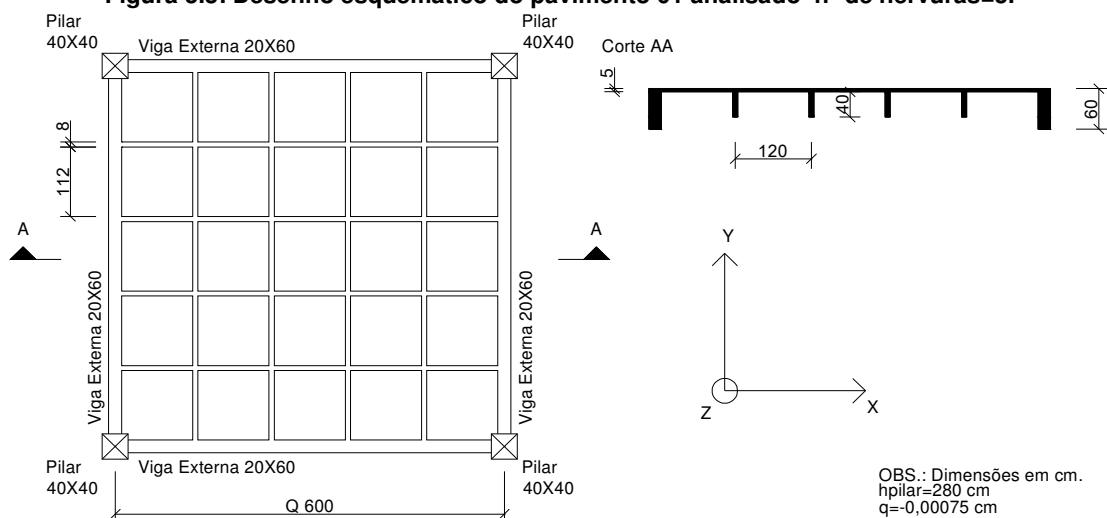


Figura 5.4: Desenho esquemático do pavimento 01 analisado n° de nervuras=4.

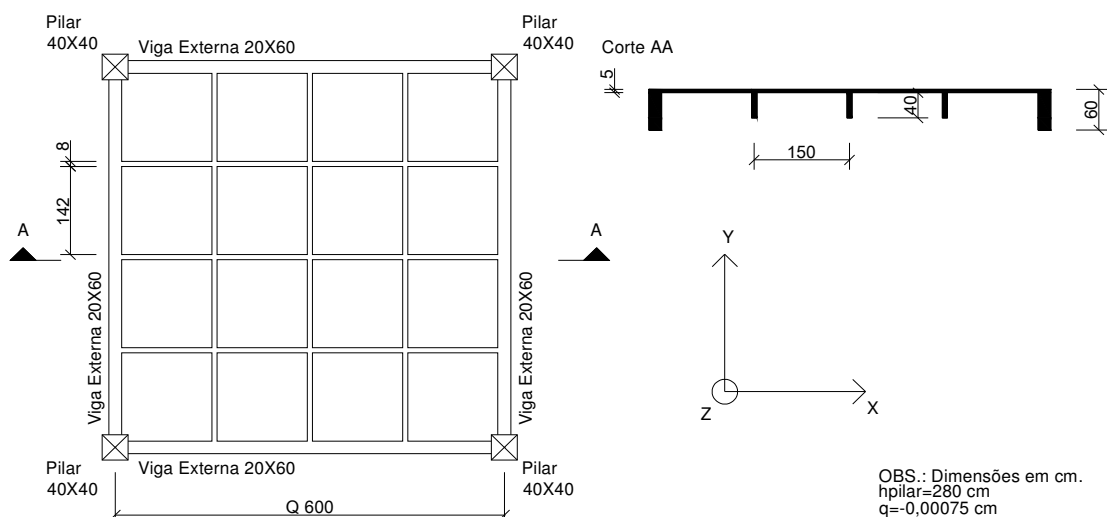


Figura 5.5: Desenho esquemático do pavimento 01 analisado n° de nervuras=3.

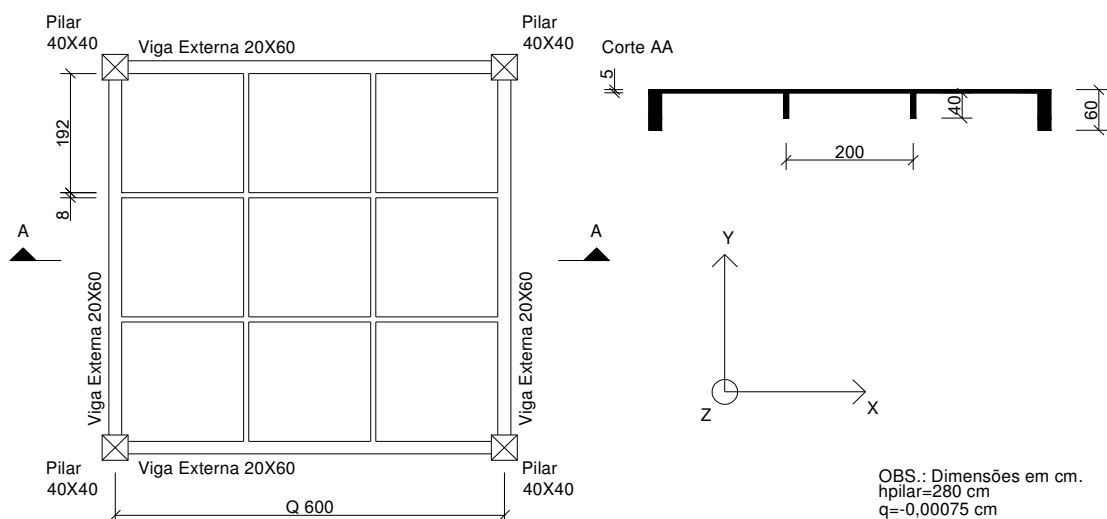


Figura 5.6: Desenho esquemático do pavimento 01 analisado n° de nervuras=2.

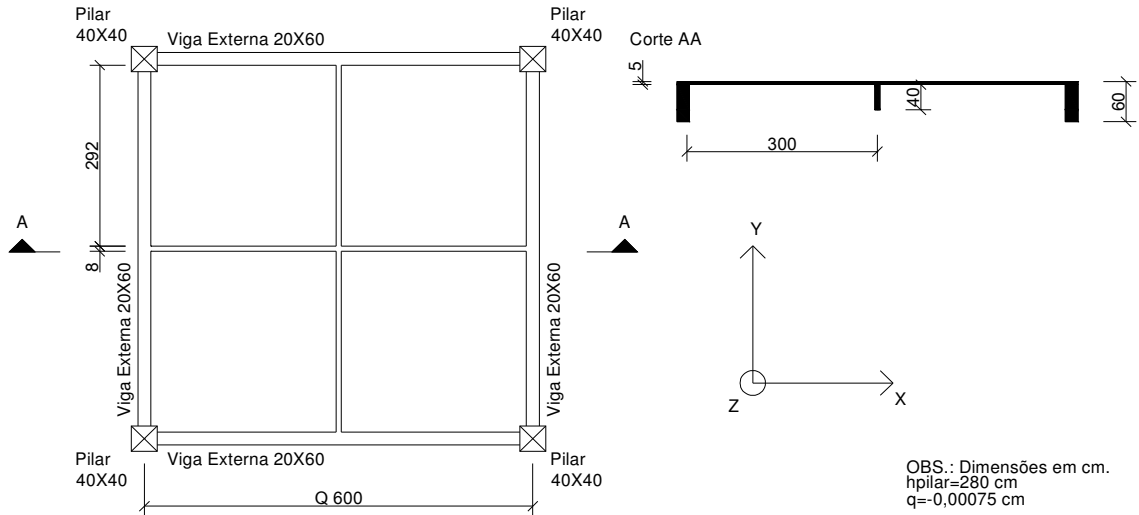


Figura 5.7: Desenho esquemático do pavimento 01 analisado nº de nervuras=1.

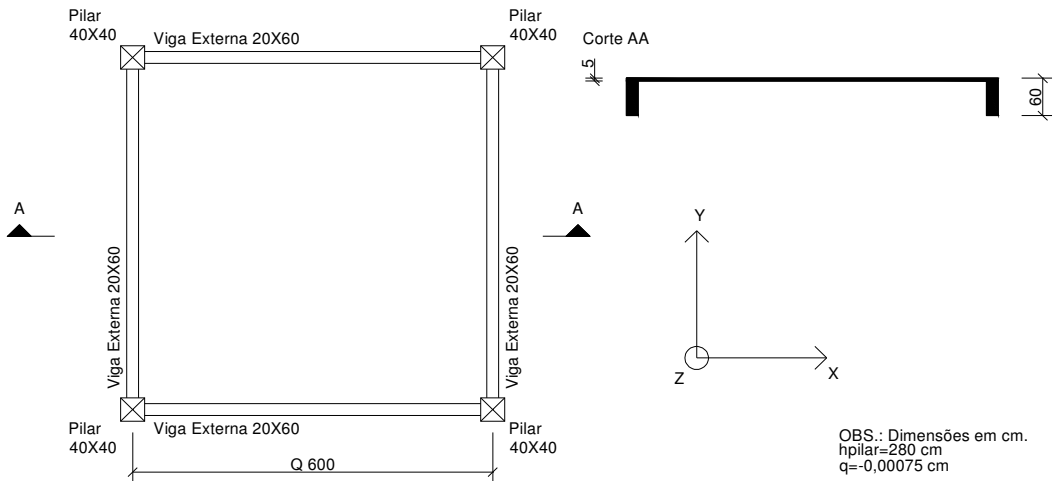


Figura 5.8: Desenho esquemático do pavimento 01 analisado nº de nervuras=0.

Tabela 5.1: Características geométricas dos elementos.

Elemento	hy (cm)	hz (cm)	A (cm ²)	Izz (cm ⁴)	Iyy (cm ⁴)	Ixx (cm ⁴)	Excent. (cm)
Pilares	40	40	1600	213333	213333	1,00E-25	0
Vigas ext. (Modelo 01)	20	60	1200	40000	360000	1,00E-25	0
Vigas ext. (Modelo 02)	20	55	1100	36666,67	277292	1,00E-25	30
Vigas ext. (Modelo 03)	20	60	1200	40000	360000	1,00E-25	27,5
Nervuras (Modelo 01) h=40	8	40	320	1706,67	42666,7	1,00E-25	0
Nervuras (Modelo 02) h=40	8	35	280	1493,33	28583,3	1,00E-25	20
Nervuras (Modelo 03) h=40	8	40	320	1706,67	42666,7	1,00E-25	17,5

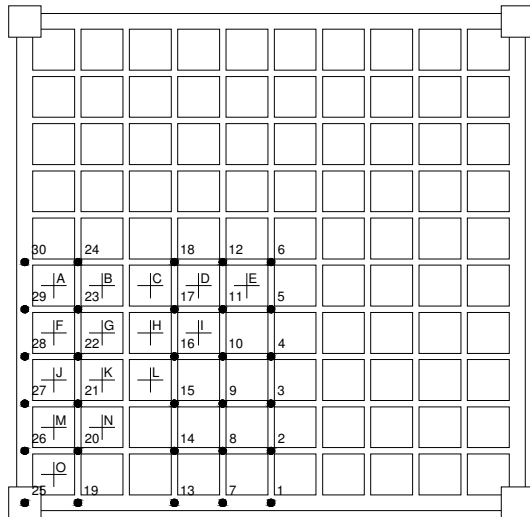
Tabela 5.2: Características do material.

Característica	fck (MPa)	v	Ecs (MPa)	Gc (Mpa)
Valor	25	0,2	23800	9520

Tabela 5.3: Densidade de elementos das malhas dos modelos.

Nº de nervuras	Elemento		
	BEAM 4	BEAM44	SHELL63
9	4	440	400
7	4	432	576
5	4	336	400
4	4	240	400
3	4	200	400
2	4	192	576
1	4	120	400
0	4	80	400

Os pontos de coleta de dados do pavimento quadrado (pavimento 01) são mostrados da Figura 5.9 até Figura 5.16



- + Medição de esforços
- Medição de esforços e deslocamentos

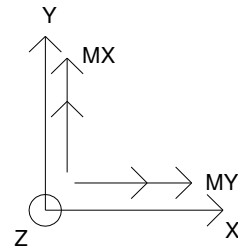
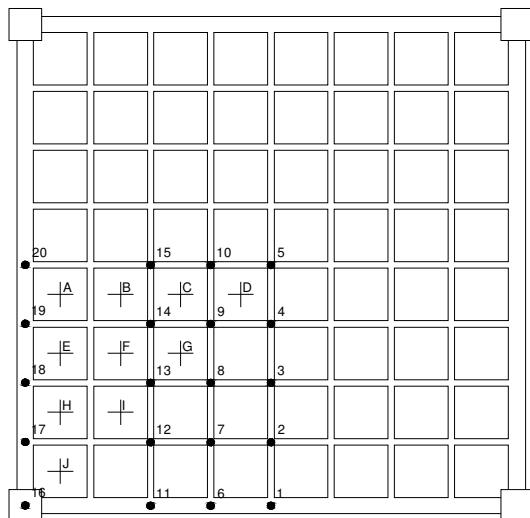


Figura 5.9: Esquema para aquisição de deslocamentos e esforços do pavimento (DIAS, 2003) nº de nervuras=9 espessura da nervura 8cm.



- + Medição de esforços
- Medição de esforços e deslocamentos

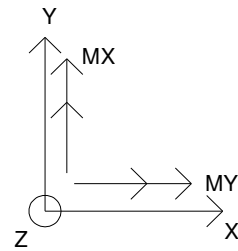
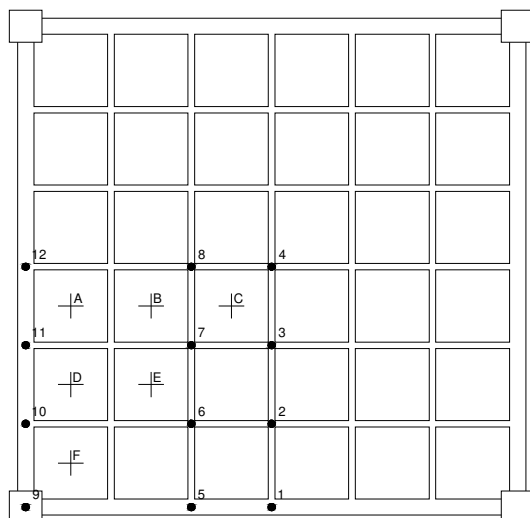


Figura 5.10: Esquema para aquisição de deslocamentos e esforços do pavimento nº de nervuras=7 espessura da nervura 8cm.



- + Medição de esforços
- Medição de esforços e deslocamentos

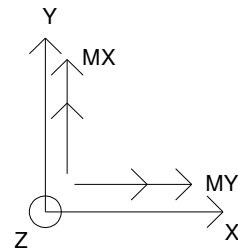
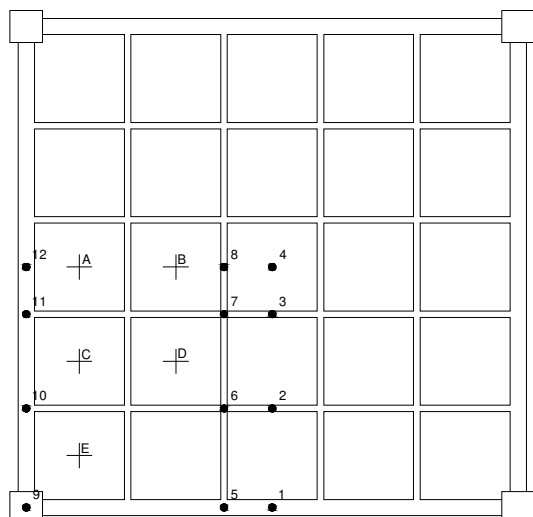


Figura 5.11: Esquema para aquisição de deslocamentos e esforços do pavimento nº de nervuras=5 espessura da nervura 8cm.



- + Medição de esforços
- Medição de esforços e deslocamentos

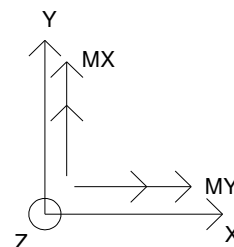
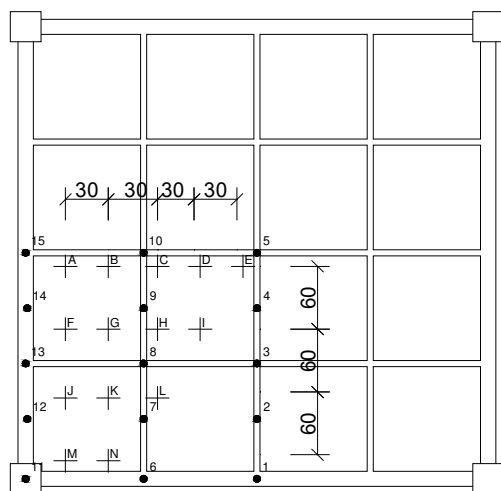


Figura 5.12: Esquema para aquisição de deslocamentos e esforços do pavimento nº de nervuras=4 espessura da nervura 8cm.



- + Medição de esforços
- Medição de esforços e deslocamentos

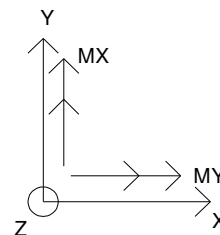
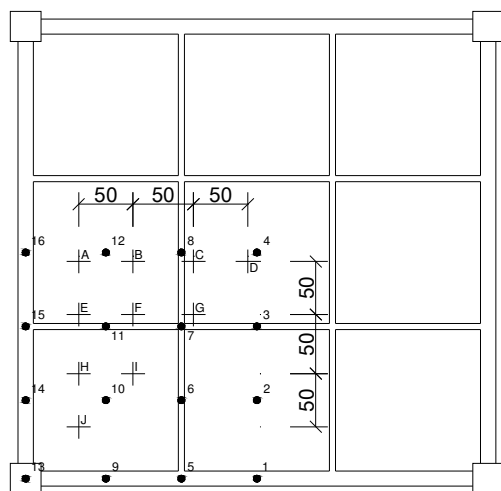


Figura 5.13: Esquema para aquisição de deslocamentos e esforços do pavimento nº de nervuras=3 espessura da nervura 8cm.



- + Medição de esforços
- Medição de esforços e deslocamentos

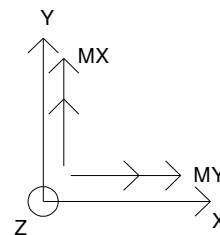


Figura 5.14: Esquema para aquisição de deslocamentos e esforços do pavimento nº de nervuras=2 espessura da nervura 8cm.

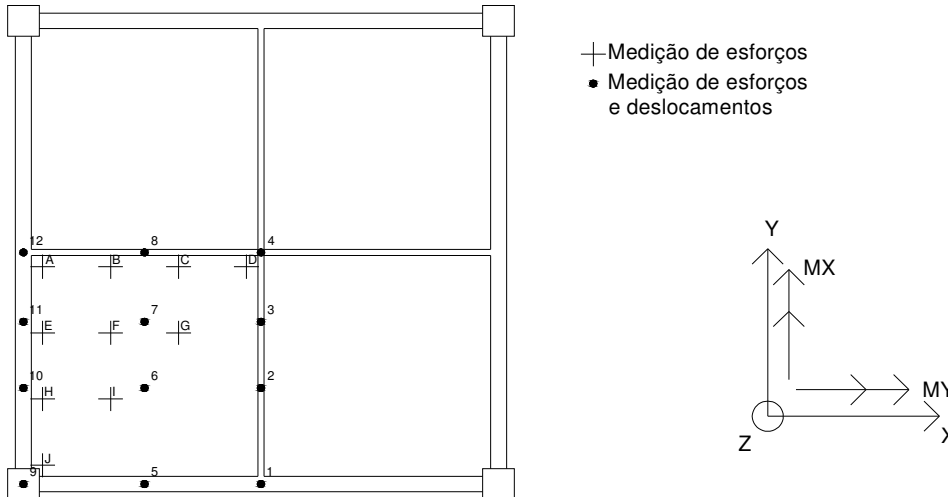


Figura 5.15: Esquema para aquisição de deslocamentos e esforços do pavimento nº de nervuras=1 espessura da nervura 8cm.

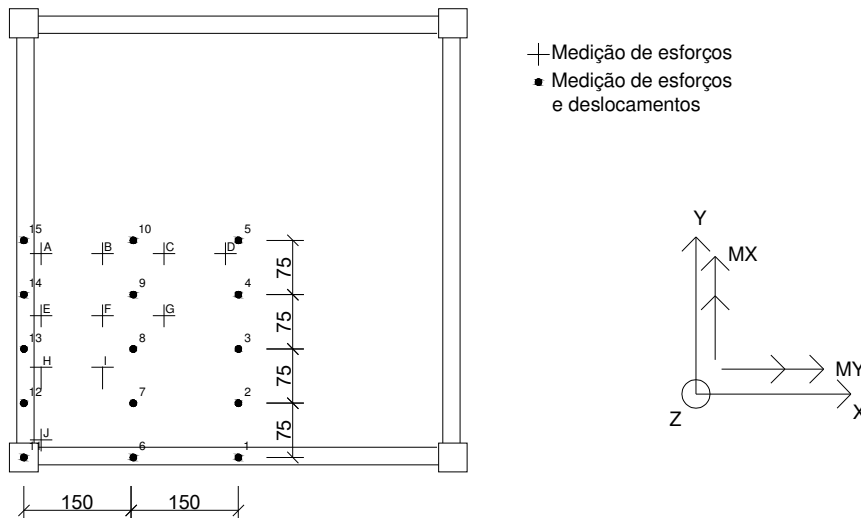


Figura 5.16: Esquema para aquisição de deslocamentos e esforços do pavimento 01 sem nervuras.

5.2.1 Deslocamentos

Na Tabela 5.4 e do Gráfico 5.1 até Gráfico 5.5 são apresentados os deslocamentos verticais dos trechos analisados do pavimento 1. As tabelas apresentam também os erros do modelo concêntrico em relação aos modelos excêntricos.

Tabela 5.4: Deslocamentos coletados do pavimento 1 número de nervuras 9 e espessura de nervura 8cm.

Pto	Uz			Erro de M01 em relação a	
	M01	M02	M03	M02	M03
1	-0,15283	-0,12107	-0,11436	26,23%	33,64%
2	-0,28477	-0,18171	-0,1728	56,72%	64,80%
3	-0,40214	-0,23593	-0,22501	70,45%	78,72%
4	-0,49363	-0,27818	-0,2657	77,45%	85,78%
5	-0,55146	-0,30488	-0,29142	80,88%	89,23%
6	-0,57122	-0,314	-0,3002	81,92%	90,28%
7	-0,14501	-0,11516	-0,10886	25,92%	33,21%
8	-0,27345	-0,17475	-0,16624	56,48%	64,49%
9	-0,38754	-0,22804	-0,21751	69,94%	78,17%
10	-0,47631	-0,2696	-0,25749	76,67%	84,98%
11	-0,53234	-0,29589	-0,28278	79,91%	88,25%
12	-0,55146	-0,30488	-0,29142	80,88%	89,23%
13	-0,12264	-0,098189	-0,093023	24,90%	31,84%
14	-0,24049	-0,15452	-0,14717	55,64%	63,41%
15	-0,34476	-0,205	-0,1956	68,18%	76,26%
16	-0,42551	-0,24453	-0,23348	74,01%	82,25%
17	-0,47631	-0,2696	-0,25749	76,67%	84,98%
18	-0,49363	-0,27818	-0,2657	77,45%	85,78%
19	-0,04899	-0,041319	-0,03972	18,57%	23,34%
20	-0,12304	-0,08341	-0,079875	47,51%	54,04%
21	-0,18884	-0,12293	-0,11733	53,62%	60,95%
22	-0,24049	-0,15452	-0,14717	55,64%	63,41%
23	-0,27345	-0,17475	-0,16624	56,48%	64,49%
24	-0,28477	-0,18171	-0,1728	56,72%	64,80%
25	-0,0099265	-0,00992647	-0,00992647	0,00%	0,00%
26	-0,04899	-0,041319	-0,03972	18,57%	23,34%
27	-0,0889	-0,072385	-0,068894	22,82%	29,04%
28	-0,12264	-0,098189	-0,093023	24,90%	31,84%
29	-0,14501	-0,11516	-0,10886	25,92%	33,21%
30	-0,15283	-0,12107	-0,11436	26,23%	33,64%
			Máximos	82%	90%

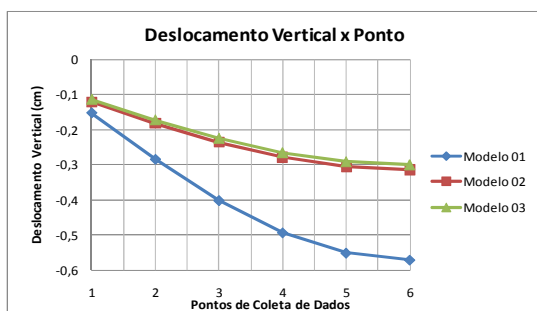


Gráfico 5.1: Deslocamentos coletados do pavimento 1 número de nervuras 9 e espessura de nervura 8cm trecho 1.

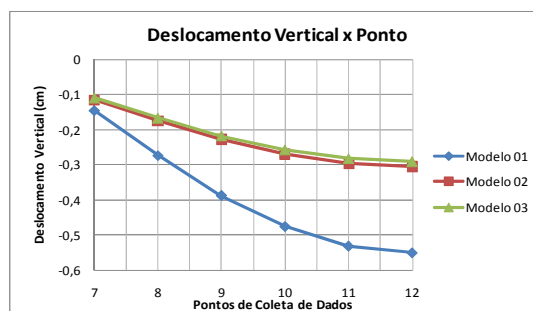


Gráfico 5.2: Deslocamentos coletados do pavimento 1 número de nervuras 9 e espessura de nervura 8cm trecho 2.

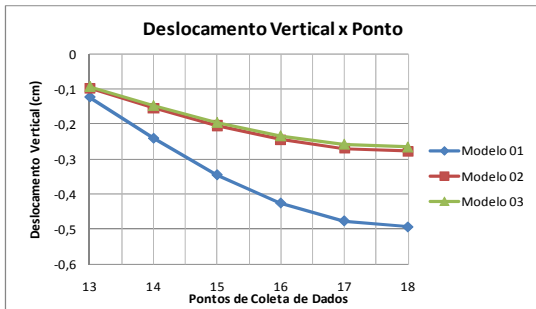


Gráfico 5.3: Deslocamentos coletados do pavimento 1 número de nervuras 9 e espessura de nervura 8cm trecho 3.

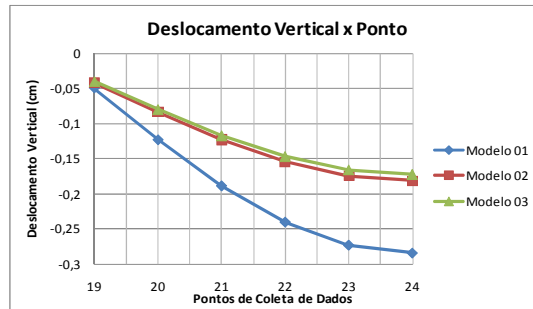


Gráfico 5.4: Deslocamentos coletados do pavimento 1 número de nervuras 9 e espessura de nervura 8cm trecho 4.

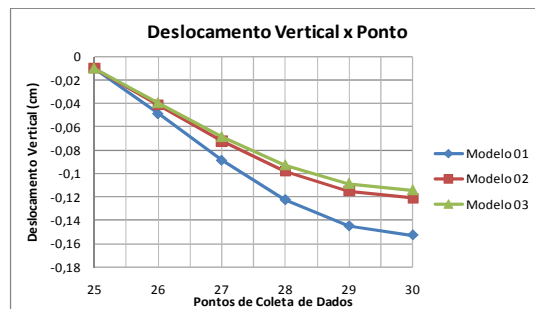


Gráfico 5.5: Deslocamentos coletados do pavimento 1 número de nervuras 9 e espessura de nervura 8cm trecho 5.

Nota-se que os deslocamentos no meio da casca do modelo concêntrico são até 89% maiores que nos modelos excêntricos. Em todos os trechos em que foram medidos os dados percebe-se grandes diferenças nos deslocamentos.

São apresentados na Tabela 5.5 e do Gráfico 5.6 até Gráfico 5.9 os deslocamentos do pavimento quadrado com sete nervuras por lado.

Tabela 5.5: Deslocamentos coletados do pavimento 1 número de nervuras 7 e espessura de nervura 8cm.

Pto	Uz			Erro de M01 em relação a	
	M01	M02	M03	M02	M03
1	-0,15531	-0,12254	-0,1161	26,74%	33,77%
2	-0,36121	-0,21185	-0,20282	70,50%	78,09%
3	-0,53223	-0,28623	-0,27504	85,94%	93,51%
4	-0,64397	-0,33476	-0,32218	92,37%	99,88%
5	-0,68268	-0,35157	-0,3385	94,18%	101,68%
6	-0,14293	-0,11322	-0,10738	26,24%	33,11%
7	-0,33905	-0,19951	-0,19107	69,94%	77,45%
8	-0,50153	-0,27143	-0,26079	84,77%	92,31%
9	-0,60738	-0,31846	-0,30638	90,72%	98,24%
10	-0,64397	-0,33476	-0,32218	92,37%	99,88%
11	-0,10851	-0,08716	-0,08297	24,49%	30,79%
12	-0,27533	-0,16409	-0,15732	67,79%	75,01%
13	-0,41259	-0,22881	-0,21974	80,32%	87,76%
14	-0,50153	-0,27143	-0,26079	84,77%	92,31%
15	-0,53223	-0,28623	-0,27504	85,94%	93,51%
16	-0,00993	-0,00993	-0,00993	0,00%	0,00%
17	-0,05996	-0,04981	-0,04784	20,38%	25,33%
18	-0,10851	-0,08716	-0,08297	24,49%	30,79%
19	-0,14293	-0,11322	-0,10738	26,24%	33,11%
20	-0,15531	-0,12254	-0,1161	26,74%	33,77%
			Máximos	94%	102%

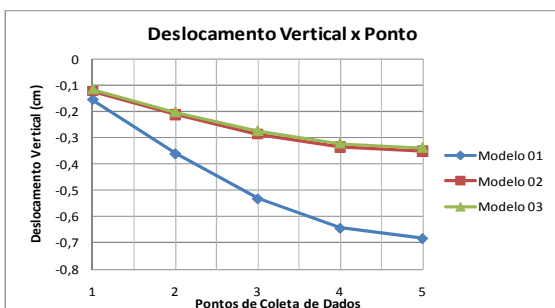


Gráfico 5.6: Deslocamentos coletados do pavimento 1 número de nervuras 7 e espessura de nervura 8cm trecho 1.

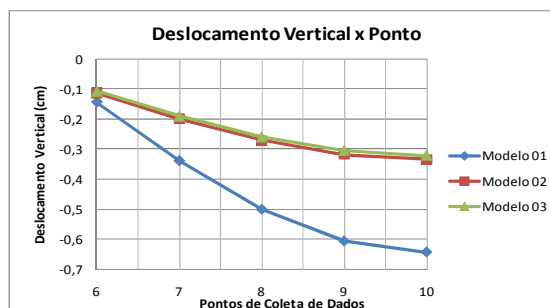


Gráfico 5.7: Deslocamentos coletados do pavimento 1 número de nervuras 7 e espessura de nervura 8cm trecho 2.

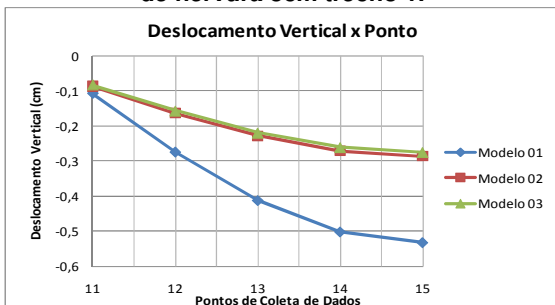


Gráfico 5.8: Deslocamentos coletados do pavimento 1 número de nervuras 7 e espessura de nervura 8cm trecho 3.

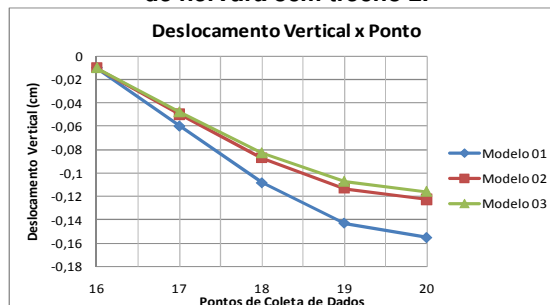


Gráfico 5.9: Deslocamentos coletados do pavimento 1 número de nervuras 7 e espessura de nervura 8cm trecho 4.

Neste pavimento as diferenças entre os deslocamentos do modelo concêntrico e excêntrico chegar a mais de 100%. É perceptível que nas regiões próximas as vigas de contorno a diferença diminui, mas mesmo assim ficam em torno de 30%.

A Tabela 5.6 e do Gráfico 5.10 até Gráfico 5.12 apresentam os valores de deslocamento vertical do pavimento quadrado com cinco nervuras por lado.

Tabela 5.6: Deslocamentos coletados do pavimento 1 número de nervuras 5 e espessura de nervura 8cm.

Pto	Uz			Erro de M01 em relação a	
	M01	M02	M03	M02	M03
1	-0,15858	-0,12426	-0,11817	27,62%	34,20%
2	-0,52039	-0,27115	-0,26225	91,92%	98,43%
3	-0,77708	-0,3753	-0,36444	107,06%	113,23%
4	-0,86881	-0,41247	-0,40093	110,64%	116,70%
5	-0,13636	-0,10764	-0,10256	26,68%	32,96%
6	-0,46383	-0,24365	-0,23569	90,37%	96,80%
7	-0,69485	-0,34057	-0,33049	104,03%	110,25%
8	-0,77708	-0,3753	-0,36444	107,06%	113,23%
9	-0,00993	-0,00993	-0,00993	0,00%	0,00%
10	-0,07845	-0,0638	-0,06124	22,97%	28,11%
11	-0,13636	-0,10764	-0,10256	26,68%	32,96%
12	-0,15858	-0,12426	-0,11817	27,62%	34,20%
			Máximos	111%	117%

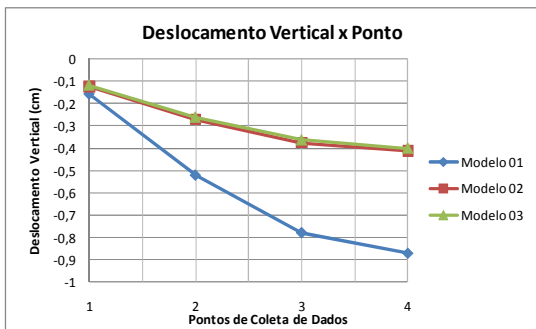


Gráfico 5.10: Deslocamentos coletados do pavimento 1 número de nervuras 5 e espessura de nervura 8cm trecho 1.

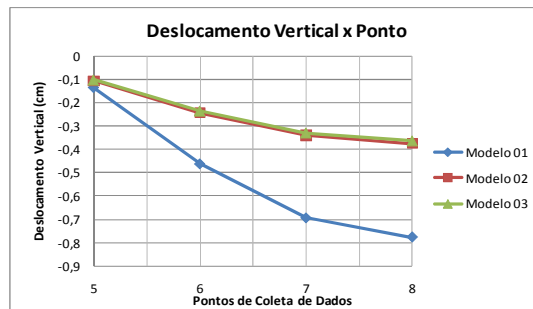


Gráfico 5.11: Deslocamentos coletados do pavimento 1 número de nervuras 5 e espessura de nervura 8cm trecho 2.

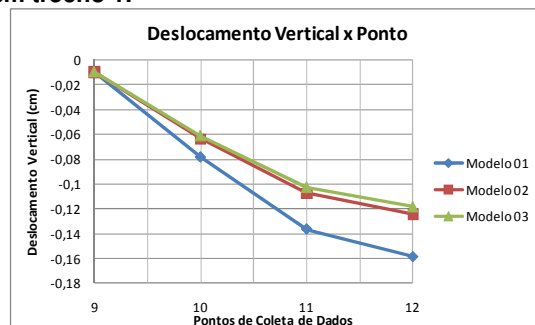


Gráfico 5.12: Deslocamentos coletados do pavimento 1 número de nervuras 5 e espessura de nervura 8cm trecho 3.

Seguindo os modelos anteriores este pavimento teve diferenças de deslocamentos de até 117%. Na região perto das vigas de contorno essa diferença ainda é menos pronunciada, porém em torno de 34% por cento.

São apresentados na Tabela 5.7 os valores dos deslocamentos verticais no pavimento 1 e no Gráfico 5.13 até Gráfico 5.15 são mostrados os deslocamentos dos trechos marcados.

Tabela 5.7: Deslocamentos coletados do pavimento 1 número de nervuras 4 e espessura de nervura 8cm.

Pto	Uz			Erro de M01 em relação a	
	M01	M02	M03	M02	M03
1	-0,16064	-0,1252	-0,11927	28,31%	34,69%
2	-0,66958	-0,32597	-0,31679	105,41%	111,36%
3	-0,97221	-0,44483	-0,43387	118,56%	124,08%
4	-1,0198	-0,46817	-0,45699	117,83%	123,16%
5	-0,15243	-0,11921	-0,1136	27,87%	34,18%
6	-0,64265	-0,31375	-0,30492	104,83%	110,76%
7	-0,93371	-0,42945	-0,41875	117,42%	122,98%
8	-0,97221	-0,44483	-0,43387	118,56%	124,08%
9	-0,00993	-0,00993	-0,00993	0,00%	0,00%
10	-0,09306	-0,07469	-0,07163	24,59%	29,92%
11	-0,15243	-0,11921	-0,1136	27,87%	34,18%
12	-0,16064	-0,1252	-0,11927	28,31%	34,69%
			Máximos	119%	124%

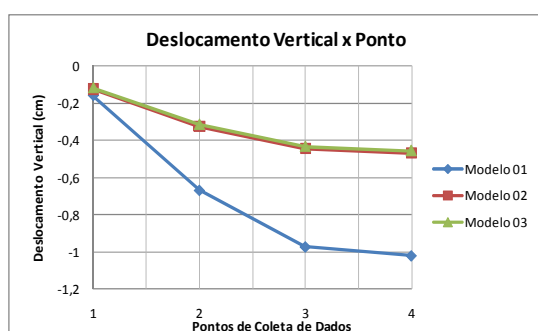


Gráfico 5.13: Deslocamentos coletados do pavimento 1 número de nervuras 4 e espessura de nervura 8cm trecho 1.

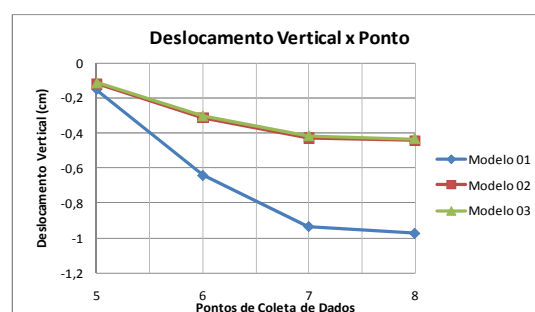


Gráfico 5.14: Deslocamentos coletados do pavimento 1 número de nervuras 4 e espessura de nervura 8cm trecho 2.

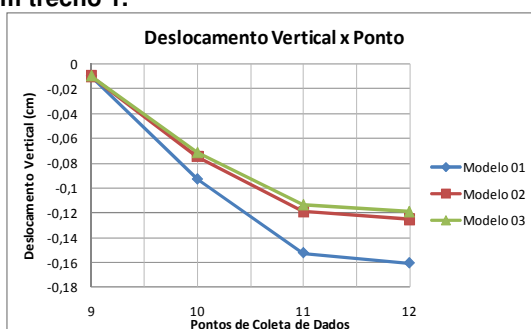


Gráfico 5.15: Deslocamentos coletados do pavimento 1 número de nervuras 4 e espessura de nervura 8cm trecho 3.

Seguindo o padrão dos pavimentos já analisados, os deslocamentos do modelo concêntrico no meio do pavimento são até 124% maiores que os modelos excêntricos. Já nas vigas de contorno a diferença chega a ser de quase 35%.

A Tabela 5.8 e do Gráfico 5.16 até o Gráfico 5.18 mostram os valores e a deformada dos trechos analisados no pavimento 1.

Tabela 5.8: Deslocamentos coletados do pavimento 1 número de nervuras 3 e espessura de nervura 8cm.

Pto	Uz			Erro de M01 em relação a	
	M01	M02	M03	M02	M03
1	-0,16384	-0,12691	-0,12104	29,10%	35,36%
2	-0,6553	-0,31519	-0,30693	107,91%	113,50%
3	-0,92261	-0,41697	-0,40758	121,27%	126,36%
4	-1,1741	-0,51289	-0,5024	128,92%	133,70%
5	-1,2234	-0,53153	-0,52087	130,17%	134,88%
6	-0,1142	-0,09013	-0,08633	26,71%	32,29%
7	-0,4912	-0,24078	-0,2345	104,00%	109,47%
8	-0,69468	-0,32324	-0,31556	114,91%	120,14%
9	-0,88561	-0,40179	-0,39264	120,42%	125,55%
10	-0,92261	-0,41697	-0,40758	121,27%	126,36%
11	-0,00993	-0,00993	-0,00993	0,00%	0,00%
12	-0,0736	-0,05931	-0,05721	24,09%	28,65%
13	-0,1142	-0,09013	-0,08633	26,71%	32,29%
14	-0,1552	-0,12037	-0,11492	28,94%	35,05%
15	-0,16384	-0,12691	-0,12104	29,10%	35,36%
			Máximos	130%	135%

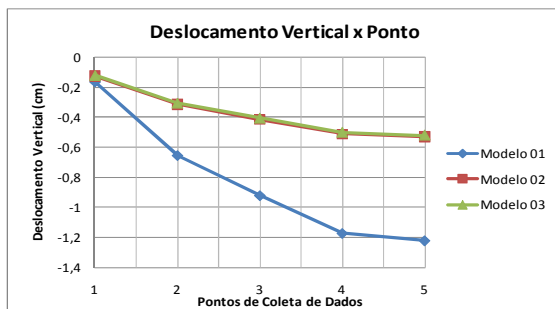


Gráfico 5.16: Deslocamentos coletados do pavimento 1 número de nervuras 3 e espessura de nervura 8cm trecho 1.

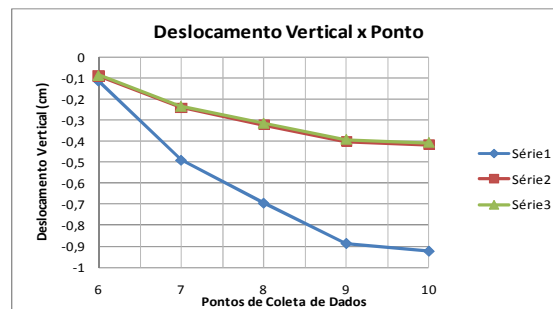


Gráfico 5.17: Deslocamentos coletados do pavimento 1 número de nervuras 3 e espessura de nervura 8cm trecho 2.

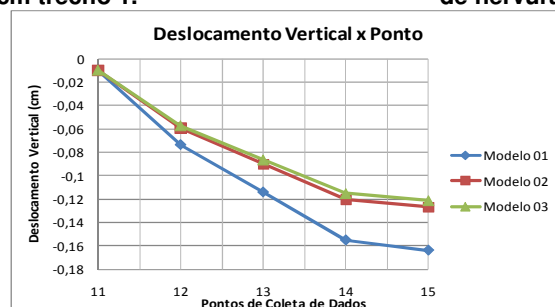


Gráfico 5.18: Deslocamentos coletados do pavimento 1 número de nervuras 3 e espessura de nervura 8cm trecho 3.

As diferenças de deslocamentos deste modelo continuam crescendo em relação às modelos já expostos. O Modelo 03 que é o mais rígido tem uma diferença máxima de 134% menor que o modelo concêntrico, enquanto que o Modelo 02 possui diferença de até 130% menor que o modelo concêntrico. As diferenças nas vigas de contorno chegam a 35% para o Modelo 03 e 29% para o Modelo 02.

Na Tabela 5.9 e no Gráfico 5.19 até Gráfico 5.22 estão descritos os deslocamentos do pavimento quadrado com duas nervuras por lado.

Tabela 5.9: Deslocamentos coletados do pavimento 1 número de nervuras 2 e espessura de nervura 8cm.

Pto	Uz			Erro de M01 em relação a	
	M01	M02	M03	M02	M03
1	-0,16881	-0,12865	-0,123	31,22%	37,24%
2	-0,94804	-0,4544	-0,44637	108,64%	112,39%
3	-1,3886	-0,5841	-0,57436	137,73%	141,76%
4	-1,6218	-0,70688	-0,6967	129,43%	132,78%
5	-0,14564	-0,11238	-0,10747	29,60%	35,52%
6	-0,78081	-0,35327	-0,34575	121,02%	125,83%
7	-1,2272	-0,52219	-0,51313	135,01%	139,16%
8	-1,3886	-0,5841	-0,57436	137,73%	141,76%
9	-0,08306	-0,06545	-0,06321	26,91%	31,41%
10	-0,58746	-0,28282	-0,27787	107,72%	111,42%
11	-0,78081	-0,35327	-0,34575	121,02%	125,83%
12	-0,94804	-0,4544	-0,44637	108,64%	112,39%
13	-0,00993	-0,00993	-0,00993	0,00%	0,00%
14	-0,08306	-0,06545	-0,06321	26,91%	31,41%
15	-0,14564	-0,11238	-0,10747	29,60%	35,52%
16	-0,16881	-0,12865	-0,123	31,22%	37,24%
			Máximos	138%	142%

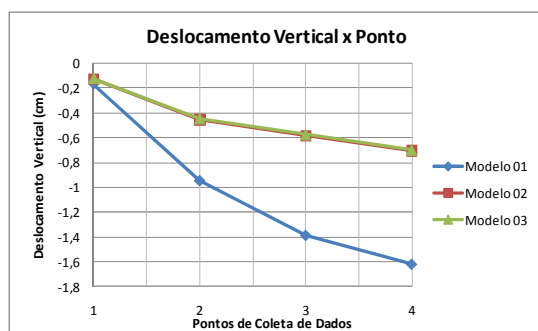


Gráfico 5.19: Deslocamentos coletados do pavimento 1 número de nervuras 2 e espessura de nervura 8cm trecho 1.

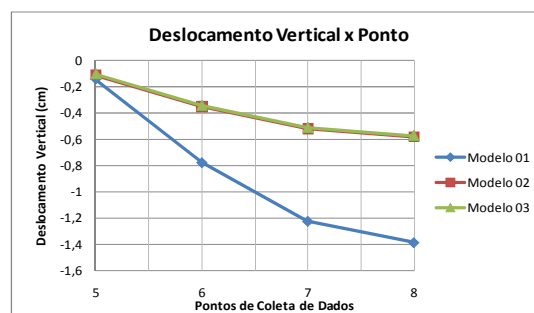


Gráfico 5.20: Deslocamentos coletados do pavimento 1 número de nervuras 2 e espessura de nervura 8cm trecho 2.

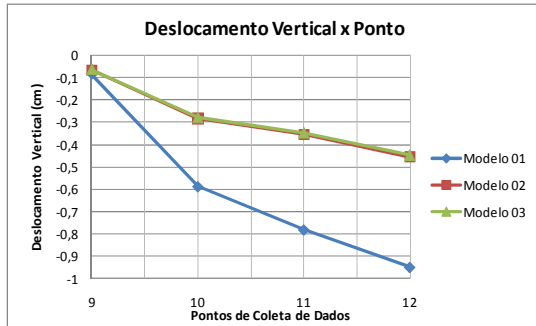


Gráfico 5.21: Deslocamentos coletados do pavimento 1 número de nervuras 2 e espessura de nervura 8cm trecho 3.

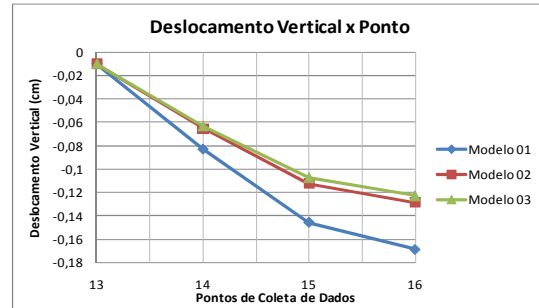


Gráfico 5.22: Deslocamentos coletados do pavimento 1 número de nervuras 2 e espessura de nervura 8cm trecho 4

Neste pavimento as maiores diferenças não foram no meio do pavimento. A maior diferença aconteceu nas nervuras que ficam entre o centro e a borda do pavimento. Os maiores deslocamentos aconteceram no centro do pavimento como esperado. O Modelo 03 continua sendo o mais rígido com diferença máxima de deslocamentos de 141% enquanto que o Modelo 2 obteve 138%.

São apresentados na Tabela 5.10 e no Gráfico 5.23 até o Gráfico 5.25, os deslocamentos do pavimento quadrado com 1 nervura por lado.

Tabela 5.10: Deslocamentos coletados do pavimento 1 número de nervuras 1 e espessura de nervura 8cm.

Pto	Uz			Erro de M01 em relação a	
	M01	M02	M03	M02	M03
1	-0,18423	-0,1386	-0,13207	32,96%	39,49%
2	-1,401	-0,5872	-0,57674	138,60%	142,92%
3	-1,993	-0,8020	-0,7903	148,51%	152,18%
4	-2,1951	-0,8737	-0,86187	151,25%	154,69%
5	-0,12525	-0,0939	-0,09047	33,42%	38,45%
6	-1,4788	-0,6966	-0,6915	112,28%	113,85%
7	-1,7678	-0,8191	-0,81034	115,81%	118,16%
8	-1,6383	-0,6738	-0,66274	143,15%	147,20%
9	-0,00993	-0,0099	-0,00993	0,00%	0,00%
10	-0,10331	-0,0779	-0,07534	32,61%	37,12%
11	-0,16112	-0,1205	-0,11541	33,74%	39,61%
12	-0,18423	-0,1386	-0,13207	32,96%	39,49%
			Máximos	151%	155%

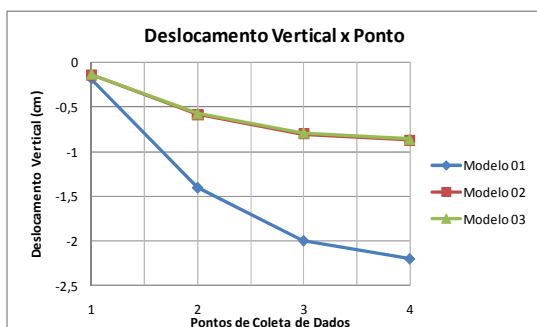


Gráfico 5.23: Deslocamentos coletados do pavimento 1 número de nervuras 1 e espessura de nervura 8cm trecho 1.

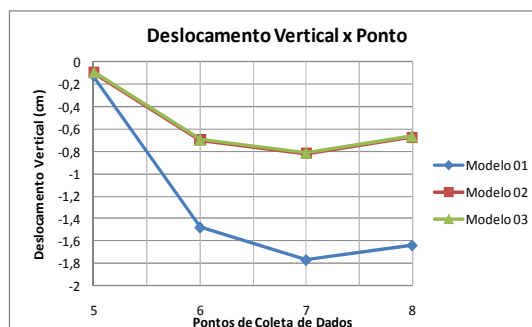


Gráfico 5.24: Deslocamentos coletados do pavimento 1 número de nervuras 1 e espessura de nervura 8cm trecho 2.

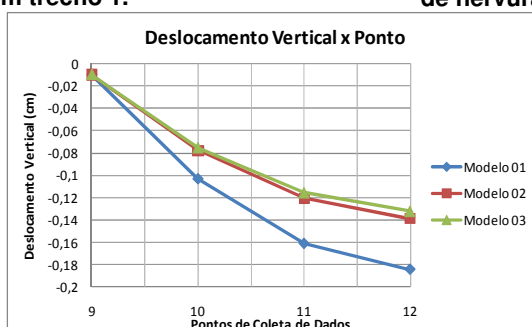


Gráfico 5.25: Deslocamentos coletados do pavimento 1 número de nervuras 1 e espessura de nervura 8cm trecho 3.

Observando este pavimento percebe-se que a maior diferença de deslocamentos fica no centro do pavimento. A diferença máxima chega a 155% para o Modelo 03 e 151% para o Modelo 02.

Foi notado também que quanto menor o número de nervuras nas lajes, maior é a diferença entre os deslocamentos no comportamento geral do pavimento.

Os deslocamentos verticais do pavimento quadrado sem nervuras são apresentados na Tabela 5.11 e no Gráfico 5.26 até Gráfico 5.28.

Tabela 5.11: Deslocamentos coletados do pavimento 01 número sem nervuras (cm).

Pto	Uz			Erro de M01 em relação a	
	M01	M02	M03	M02	M03
1	-0,19603	-0,14278	-0,13706	37,30%	43,02%
2	-7,4099	-3,5122	-3,6147	110,98%	104,99%
3	-12,754	-6,6634	-6,8233	91,40%	86,92%
4	-14,801	-7,968	-8,1478	85,76%	81,66%
5	-15,493	-8,4197	-8,6062	84,01%	80,02%
6	-0,13594	-0,10095	-0,09735	34,66%	39,64%
7	-5,4096	-2,3154	-2,3856	133,64%	126,76%
8	-9,2809	-4,506	-4,6253	105,97%	100,66%
9	-10,755	-5,4203	-5,5585	98,42%	93,49%
10	-11,253	-5,7378	-5,8825	96,12%	91,30%
11	-0,00993	-0,00993	-0,00993	0,00%	0,00%
12	-0,08696	-0,06619	-0,0642	31,39%	35,45%
13	-0,15649	-0,11535	-0,11104	35,67%	40,93%
14	-0,18578	-0,13571	-0,13036	36,89%	42,51%
15	-0,19603	-0,14278	-0,13706	37,30%	43,02%
			Máximos	134%	127%

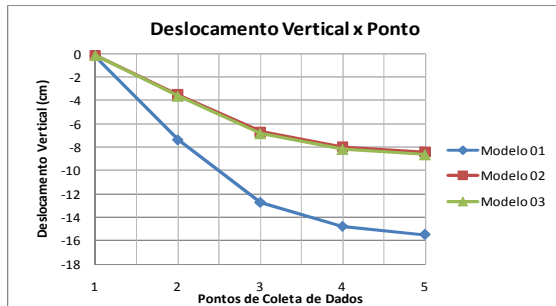


Gráfico 5.26: Deslocamentos coletados do pavimento 1 sem nervuras trecho 1.

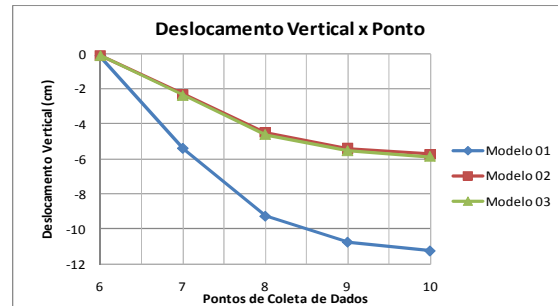


Gráfico 5.27: Deslocamentos coletados do pavimento 1 sem nervuras trecho 2.

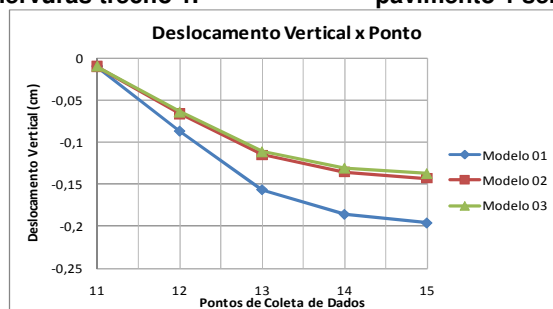


Gráfico 5.28: Deslocamentos coletados do pavimento 1 sem nervuras trecho 3.

As flechas perto do centro do pavimento ficam reduzidas em torno de 80% quando se considera o modelo excêntrico. Próximo as vigas de contorno, a redução chega a 43% para o Modelo 03 e 37% para o Modelo 02.

5.2.2 Momentos Fletores nas nervuras

São apresentados nessa seção os momentos fletores nos trechos apresentados para o pavimento quadrado.

Na Tabela 5.12 são apresentados os valores dos momentos fletores do pavimento quadrado e no Gráfico 5.29 até o Gráfico 5.33 são mostrados os diagramas.

Tabela 5.12: Momento fletor do pavimento 1 número de nervuras 9 e espessura de nervura 8cm (kNxcm).

Pto	Momento na Nervura			Erro de M01 em relação a	
	M01	M02	M03	M02	M03
1	-0,39977	-93,018	-79,385	99,57%	99,50%
2	420,74	71,996	139,32	484,39%	202,00%
3	739,36	189,68	297,94	289,79%	148,16%
4	957,46	269,86	404,64	254,80%	136,62%
5	1081	321,25	470,01	236,50%	130,00%
6	1120,4	347,2	498,75	222,70%	124,64%
7	-0,35573	-89,642	-76,396	99,60%	99,53%
8	414,35	70,742	137,01	485,72%	202,42%
9	723,99	185,42	291,69	290,46%	148,21%
10	931,38	264,89	397,02	251,61%	134,59%
11	1047	316,22	462,07	231,10%	126,59%
12	1083,7	342	490,53	216,87%	120,92%
13	-0,22565	-76,575	-64,693	99,71%	99,65%
14	394,12	64,305	126,81	512,89%	210,80%
15	673,56	171,84	271,69	291,97%	147,91%
16	850,42	250,82	375,22	239,06%	126,65%
17	948,34	301,43	438,71	214,61%	116,17%
18	980,08	326,11	465,7	200,54%	110,45%
19	0,25533	-141,04	-142,97	100,18%	100,18%
20	238,57	-7,5315	33,572	3267,63%	610,62%
21	396,5	128,04	202,02	209,67%	96,27%
22	527,25	201,54	294,69	161,61%	78,92%
23	612,17	244,17	349,02	150,71%	75,40%
24	641,34	262,23	370,08	144,57%	73,30%
25	-2167,2	-1423,9	-1434,8	52,20%	51,05%
26	-150,77	-37,604	84,309	300,94%	278,83%
27	1537,2	853,45	1125,4	80,12%	36,59%
28	2783,3	1568,8	1951,4	77,42%	42,63%
29	3544,7	2036,7	2481,7	74,04%	42,83%
30	3800,6	2231,8	2689,5	70,29%	41,31%
			Máximos	3268%	611%

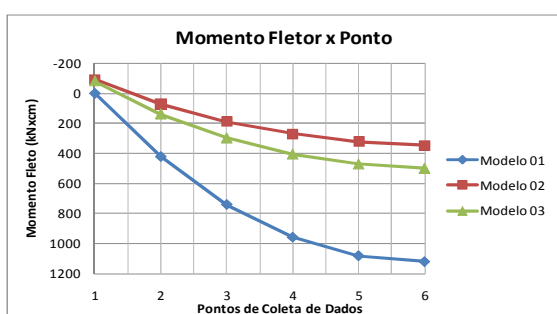


Gráfico 5.29: Momento fletor do pavimento 1 número de nervuras 9 e espessura de nervura 8cm trecho 1.

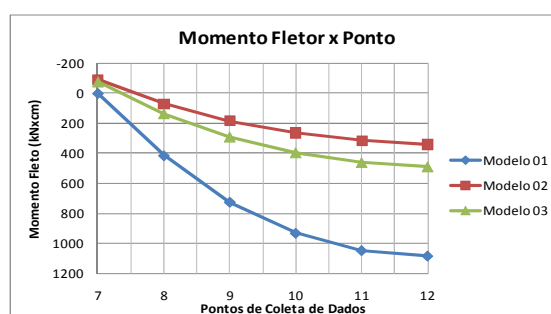


Gráfico 5.30: Momento fletor do pavimento 1 número de nervuras 9 e espessura de nervura 8cm trecho 2.

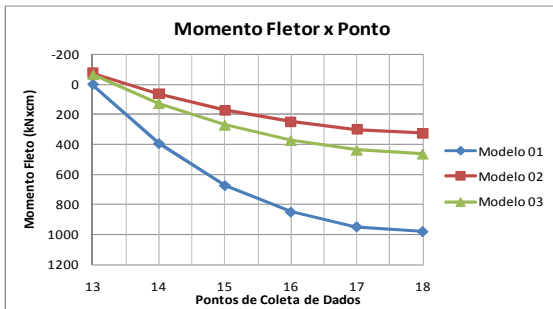


Gráfico 5.31: Momento fletor do pavimento 1 número de nervuras 9 e espessura de nervura 8cm trecho 3.

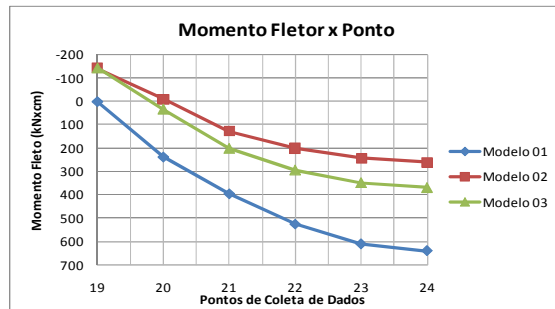


Gráfico 5.32: Momento fletor do pavimento 1 número de nervuras 9 e espessura de nervura 8cm trecho 4.

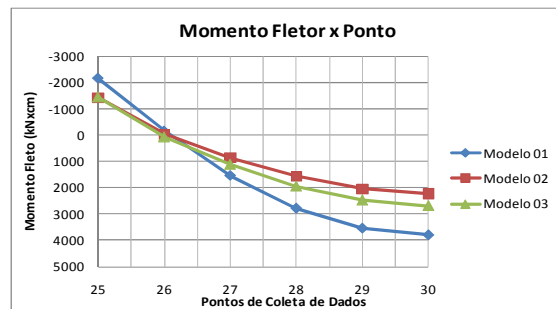


Gráfico 5.33: Momento fletor do pavimento 1 número de nervuras 9 e espessura de nervura 8cm trecho 5.

Na visualização dos momentos fletores nas nervuras dos pavimentos, percebe-se grandes reduções nos valores dos modelos excêntricos em relação ao modelo concêntrico. Apesar de chegar a variações de acima de 3200% para o Modelo 02 e até 611% para o Modelo 03, a variação geral fica na faixa de 200 e 220% para o Modelo 02 e entre 110 e 120% no Modelo 03.

A seguir na Tabela 5.13 e no Gráfico 5.34 até o Gráfico 5.37 são apresentados os valores e diagramas de momento fletor nos trechos do pavimento 1 com sete nervuras por lado.

Tabela 5.13: Momento fletor do pavimento 1 número de nervuras 7 e espessura de nervura 8cm (kNxcxm).

Pto	Momento na Nervura			Erro de M01 em relação a	
	M01	M02	M03	M02	M03
1	-0,36896	-136,78	-116,4	26,74%	33,77%
2	649,89	107,57	207,64	70,50%	78,09%
3	1088,3	264,74	417,06	85,94%	93,51%
4	1332,4	361,56	540,48	92,37%	99,88%
5	1408,7	411,12	595,3	94,18%	101,68%
6	-0,27783	-127,58	-108,43	26,24%	33,11%
7	628,68	102,61	199,42	69,94%	77,45%
8	1039,7	254	400,56	84,77%	92,31%
9	1261,4	349,97	522,35	90,72%	98,24%
10	1330,3	398,64	575,97	92,37%	99,88%
11	-0,02254	-95,146	-77,565	24,49%	30,79%
12	557,27	77,398	161,56	67,79%	75,01%
13	883,52	224,82	355,04	80,32%	87,76%
14	1056,9	316,93	470,33	84,77%	92,31%
15	1113,1	360,29	517,53	85,94%	93,51%
16	-2199,1	-1467,3	-1479,1	0,00%	0,00%
17	311,02	174,22	349,14	20,38%	25,33%
18	2264,9	1232	1581,1	24,49%	30,79%
19	3485,6	1975,7	2428,3	26,24%	33,11%
20	3899,8	2290,4	2764,1	26,74%	33,77%
			Máximos	94%	102%

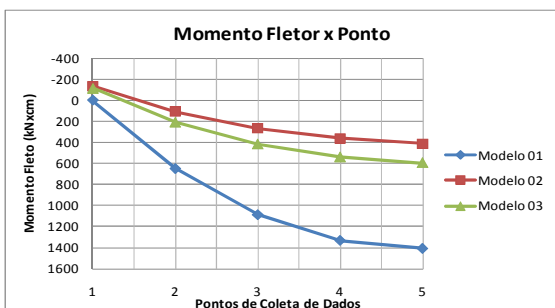


Gráfico 5.34: Momento fletor do pavimento 1 número de nervuras 7 e espessura de nervura 8cm trecho 1.

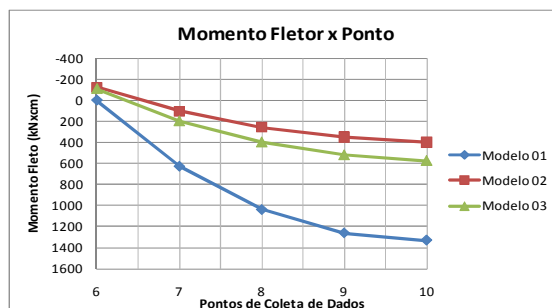


Gráfico 5.35: Momento fletor do pavimento 1 número de nervuras 7 e espessura de nervura 8cm trecho 2.

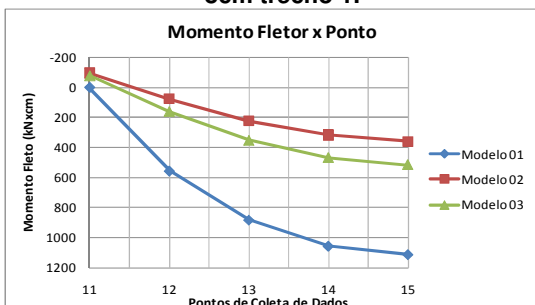


Gráfico 5.36: Momento fletor do pavimento 1 número de nervuras 7 e espessura de nervura 8cm trecho 3.

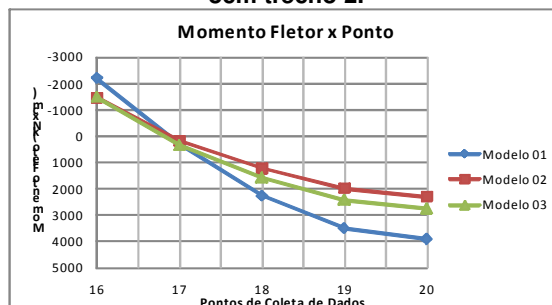


Gráfico 5.37: Momento fletor do pavimento 1 número de nervuras 7 e espessura de nervura 8cm trecho 4.

Neste pavimento os modelos excêntricos possuem momentos fletores menores que o modelo concêntrico e não ocorreram picos de diferenças tão

pronunciados como no modelo anterior, ficando a diferença máxima para o Modelo 03 em torno de 102% e 94% para o Modelo 02.

Na Tabela 5.14 são apresentados os valores dos momentos fletores do pavimento quadrado e no Gráfico 5.38 até o Gráfico 5.40 são mostrados os diagramas.

Tabela 5.14: Momento fletor do pavimento 1 número de nervuras 5 e espessura de nervura 8cm (kNxcm).

Pto	Momento na Nervura			Erro de M01 em relação a	
	M01	M02	M03	M02	M03
1	-0,12279	-125,7	-107,13	99,90%	99,89%
2	1113,5	238,68	391,43	366,52%	184,47%
3	1706,6	427,81	648,45	298,92%	163,18%
4	1884,8	507,4	747,11	271,46%	152,28%
5	-0,00546	-98,04	-78,925	99,99%	99,99%
6	1025	209,36	348,73	389,59%	193,92%
7	1532,7	396	599,35	287,05%	155,73%
8	1682,7	474,83	693,52	254,38%	142,63%
9	-2244	-1465	-1485,9	53,17%	51,02%
10	1076,4	684,84	914,66	57,18%	17,68%
11	3278	1888,9	2322,8	73,54%	41,12%
12	4042,9	2397	2890,3	68,66%	39,88%
			Máximos	390%	194%

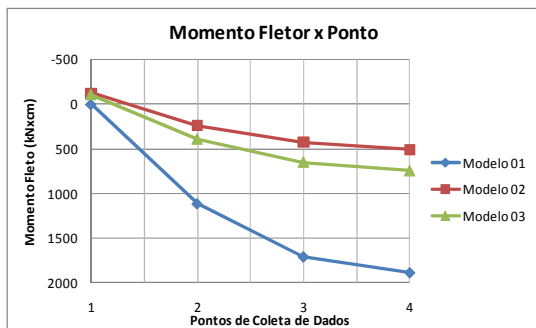


Gráfico 5.38: Momento fletor do pavimento 1 número de nervuras 5 e espessura de nervura 8cm trecho 1.

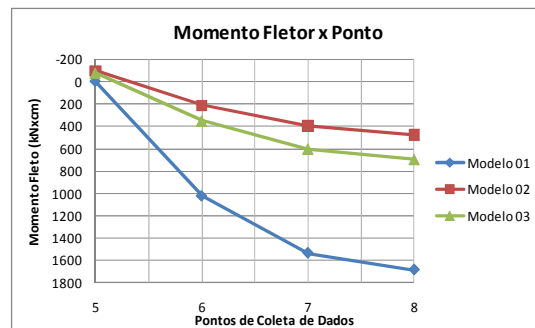


Gráfico 5.39: Momento fletor do pavimento 1 número de nervuras 5 e espessura de nervura 8cm trecho 2.

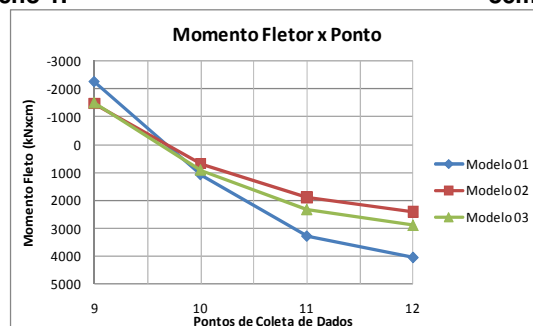


Gráfico 5.40: Momento fletor do pavimento 1 número de nervuras 5 e espessura de nervura 8cm trecho 3.

Nas nervuras os esforços de momento têm maior divergência, chegando a 194% para o Modelo 03 e 390% para o Modelo 02. Nas vigas de contorno essa diferença chega a 57% para o Modelo 02 e 51% para o Modelo 03.

A seguir na Tabela 5.15 e no Gráfico 5.41 até o Gráfico 5.43 são apresentados os valores e diagramas de momento fletor nos trechos do pavimento 1 com quatro nervuras por lado.

Os dados representados em vermelho são momentos fletores retirados da casca do pavimento. A unidade para estes esforços é kNxm/cm. Esta convenção também é adotada daqui nas tabelas seguintes.

Tabela 5.15: Momento fletor do pavimento 1 número de nervuras 4 e espessura de nervura 8cm (kNxm).

Pto	Momento Nos Pontos			Erro de M01 em relação a	
	M01	M02	M03	M02	M03
1	0,17007	0,10869	0,1054	56,47%	61,36%
2	0,37858	0,23084	0,2262	64,00%	67,40%
3	0,55883	0,28861	0,2846	93,63%	96,34%
4	0,83627	0,42156	0,4177	98,38%	100,23%
5	0,12558	-150,42	-122,98	100,08%	100,10%
6	1479,8	302,14	499	389,77%	196,55%
7	2090	524,36	789,6	298,58%	164,69%
8	2197,2	598,17	871,77	267,32%	152,04%
9	-2272,8	-1491,8	-1514,6	52,35%	50,06%
10	1671,9	997,42	1288,5	67,62%	29,76%
11	3864,6	2247	2735	71,99%	41,30%
12	3921,6	2179,3	2683,4	79,95%	46,14%
			Máximos	390%	197%

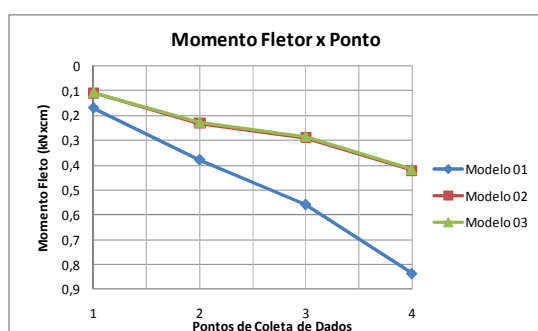


Gráfico 5.41: Momento fletor do pavimento 1 número de nervuras 4 e espessura de nervura 8cm trecho 1.

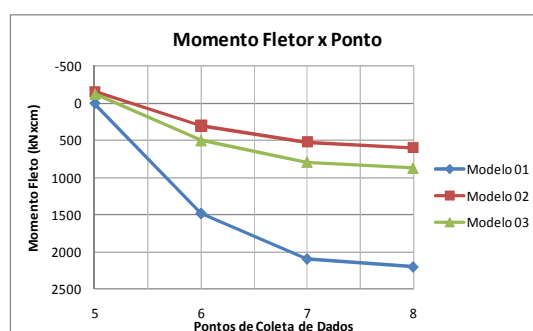


Gráfico 5.42: Momento fletor do pavimento 1 número de nervuras 4 e espessura de nervura 8cm trecho 2.

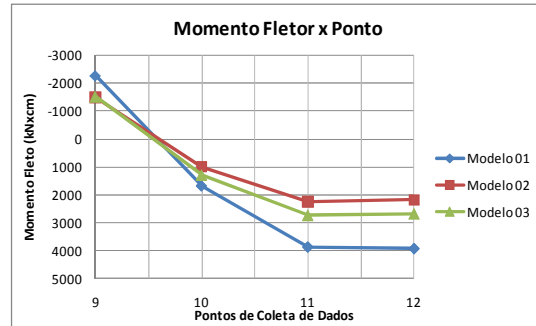


Gráfico 5.43: Momento fletor do pavimento 1 número de nervuras 4 e espessura de nervura 8cm trecho 3.

A maior diferença entre os esforços é de 390% entre o Modelo 02 e o Modelo 01. O Modelo 03 apresentou diferença máxima de 197% do modelo concêntrico.

Os valores e diagramas de momento fletor do pavimento quadrado com três nervuras por lado são apresentados na Tabela 5.16 e do Gráfico 5.44 até o Gráfico 5.46.

Tabela 5.16: Momento fletor do pavimento 1 número de nervuras 3 e espessura de nervura 8cm (kNxc).

Pto	Momento Fletor na Nervura			Erro de M01 em relação a	
	M01	M02	M03	M02	M03
1	0,35098	-174,81	-137,35	100,20%	100,26%
2	1545,1	282,76	490,77	446,44%	214,83%
3	2200,7	462,77	742,52	375,55%	196,38%
4	2745,4	683,55	1020,9	301,64%	168,92%
5	2783,6	700,32	1037,8	297,48%	168,22%
6	0,85304	-206,92	-184,45	100,41%	100,46%
7	1228,7	210,03	374,99	485,01%	227,66%
8	1663,2	351,43	572,01	373,27%	190,76%
9	2100,6	567,36	839,48	270,24%	150,23%
10	2101,7	578,09	847,17	263,56%	148,08%
11	-2314,7	-1509,3	-1536	53,36%	50,70%
12	690,94	323,19	546,35	113,79%	26,46%
13	2522,9	1508,1	1874,9	67,29%	34,56%
14	3697,1	1993,2	2493	85,49%	48,30%
15	4313,2	2586,8	3103,1	66,74%	39,00%
			Máximos	485%	228%

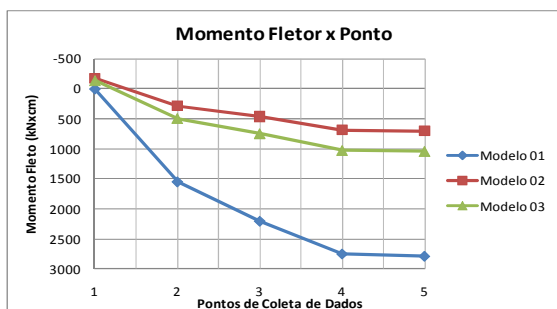


Gráfico 5.44: Momento fletor do pavimento 1 número de nervuras 3 e espessura de nervura 8cm trecho 1.

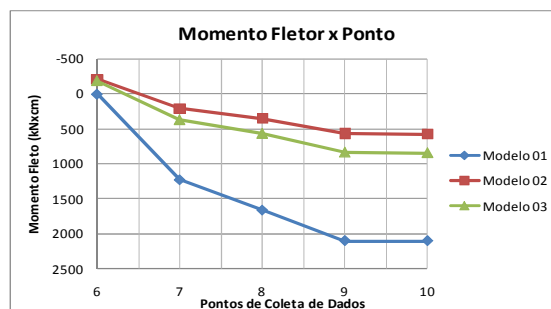


Gráfico 5.45: Momento fletor do pavimento 1 número de nervuras 3 e espessura de nervura 8cm trecho 2.

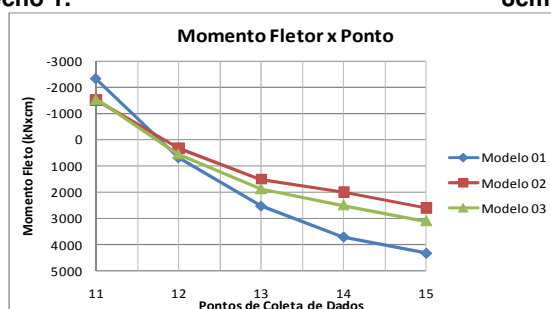


Gráfico 5.46: Momento fletor do pavimento 1 número de nervuras 3 e espessura de nervura 8cm trecho 3.

O Modelo 02 apresentou maior diferença contra o modelo concêntrico, de 485%. Já o Modelo 03 apresentou diferença de 228%. Verifica-se que na viga de bordo as diferenças entre os momentos fletores são menores, chegando a 130% para o Modelo 02 e 228% para o Modelo 03.

A Tabela 5.17 e o Gráfico 5.47 até o Gráfico 5.50 apresentam os valores e diagramas de momento fletor no pavimento 1 com duas nervuras por lado.

Tabela 5.17: Momento fletor do pavimento 1 número de nervuras 2 e espessura de nervura 8cm (kNxc).

Pto	Momento no ponto			Erro de M01 em relação a	
	M01	M02	M03	M02	M03
1	0,3013	-0,70827	-0,70875	142,54%	142,51%
2	1,2209	0,84652	0,84374	44,23%	44,70%
3	0,29929	-0,40816	-0,41091	173,33%	172,84%
4	1,6489	0,97383	0,97074	69,32%	69,86%
5	-0,84537	197,76	159,83	100,43%	100,53%
6	-2029,6	-397,57	-661,73	410,50%	206,71%
7	-2909	-654,17	-1014,3	344,69%	186,80%
8	-3374	-884,98	-1298,5	281,25%	159,84%
9	0,2671	-0,15277	-0,14775	274,84%	280,78%
10	1,1454	0,67078	0,67001	70,76%	70,95%
11	0,39763	0,11568	0,11334	243,73%	250,83%
12	1,1558	0,79368	0,79189	45,63%	45,95%
13	2385,8	1515,2	1548,8	57,46%	54,04%
14	-954,58	-409,66	-658,03	133,02%	45,07%
15	-3782,9	-2326,4	-2794,6	62,61%	35,36%
16	-4018,6	-2109,4	-2634,9	90,51%	52,51%
			Máximos	411%	281%

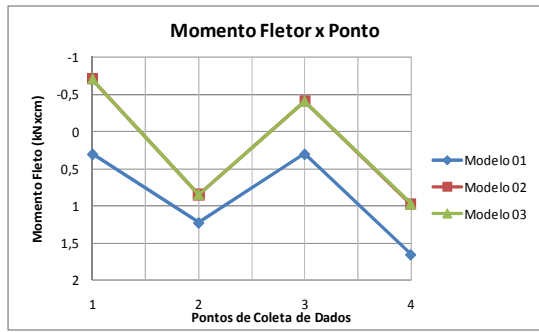


Gráfico 5.47: Momento fletor do pavimento 1 número de nervuras 2 e espessura de nervura 8cm trecho 1.

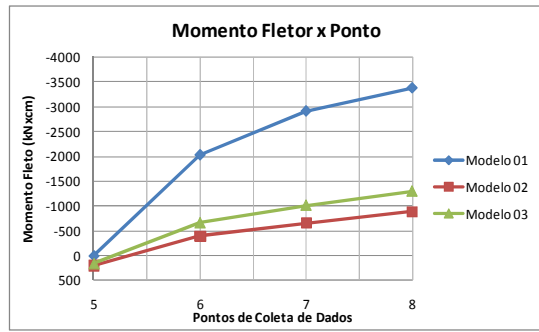


Gráfico 5.48: Momento fletor do pavimento 1 número de nervuras 2 e espessura de nervura 8cm trecho 2.

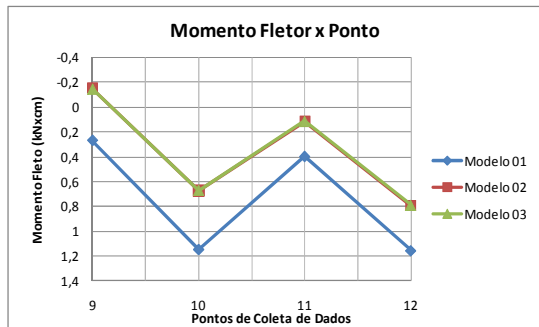


Gráfico 5.49: Momento fletor do pavimento 1 número de nervuras 2 e espessura de nervura 8cm trecho 3.

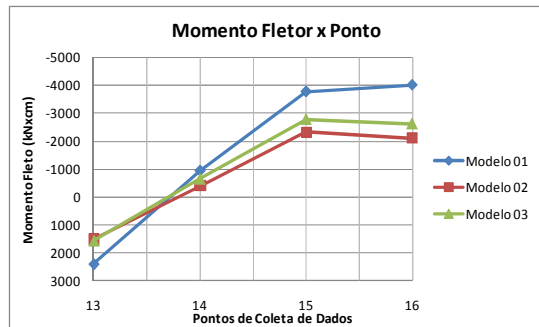


Gráfico 5.50: Momento fletor do pavimento 1 número de nervuras 2 e espessura de nervura 8cm trecho 4.

Verifica-se diferença máxima de 411% entre o Modelo 02 e o modelo concêntrico e 281% para o Modelo 03.

A Tabela 5.18 e do Gráfico 5.51 até o Gráfico 5.53 apresentam os valores e os diagramas de momento fletor no pavimento quadrado com uma nervura por lado.

Os dados em vermelho da Tabela 5.18 são momentos fletores obtidos de elemento de casca e devem ser entendidos com unidade de kNxc/cm.

Tabela 5.18: Momento fletor do pavimento 1 número de nervuras 1 e espessura de nervura 8cm (kNxc/m).

Pto	Momento Fletor nos Pontos			Erro de M01 em relação a	
	M01	M02	M03	M02	M03
1	2,359	-290,43	-203,57	100,81%	101,16%
2	3865,5	758,13	1253,6	409,87%	208,35%
3	4986,7	1170,4	1765,6	326,07%	182,44%
4	5071,1	1193,1	1780,6	325,04%	184,80%
5	0,51132	0,27874	-0,26953	83,44%	289,71%
6	2,5176	1,5792	1,5834	59,42%	59,00%
7	1,9932	1,1664	1,1623	70,88%	71,49%
8	0,94618	0,14998	0,14137	530,87%	569,29%
9	-2531,9	-1558,2	-1600,4	62,49%	58,20%
10	1485,6	572,95	879,52	159,29%	68,91%
11	3721,2	1882,2	2405	97,70%	54,73%
12	4888,2	3013,6	3601,2	62,20%	35,74%
			Máximos	531%	569%

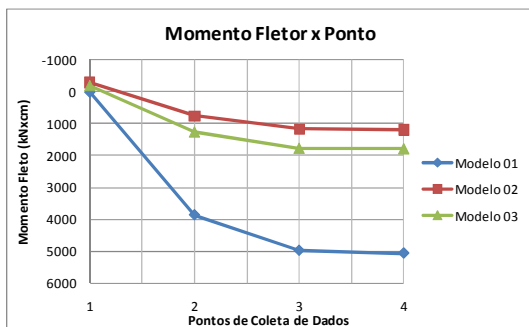


Gráfico 5.51: Momento fletor do pavimento 1 número de nervuras 1 e espessura de nervura 8cm trecho 1.

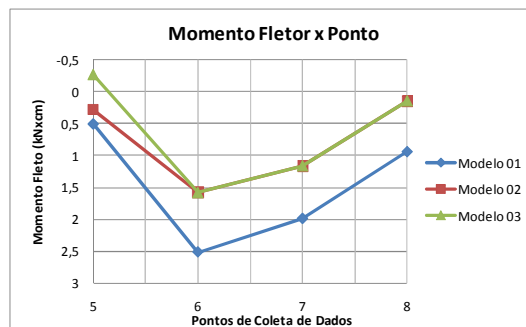


Gráfico 5.52: Momento fletor do pavimento 1 número de nervuras 1 e espessura de nervura 8cm trecho 2.

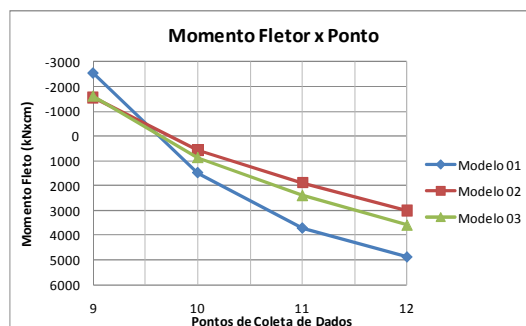


Gráfico 5.53: Momento fletor do pavimento 1 número de nervuras 1 e espessura de nervura 8cm trecho 3.

As diferenças máximas encontradas foram de 566% para o Modelo 03 e 532% para o Modelo 02. Essas diferenças foram encontradas nos elementos de casca dos modelos analisados.

As diferenças máximas nos trechos das nervuras obtiveram diferença máxima de 325% no Modelo 02 no trecho 01. O modelo 03 apresentou diferença máxima de 184% também no trecho 01.

Os momentos fletores do pavimento 1 sem nervuras são apresentados na Tabela 5.19 e do Gráfico 5.54 até o Gráfico 5.56.

Tabela 5.19: Momentos fletores coletados do pavimento 01 sem nervuras (kNxm).

Pto	Momento nos Pontos			Erro de M01 em relação a	
	M01	M02	M03	M02	M03
1	1,1881	-0,47599	-0,39981	349,61%	397,17%
2	6,7018	3,7556	3,866	78,45%	73,35%
3	10,365	6,5832	6,6981	57,45%	54,75%
4	11,617	7,5605	7,6752	53,65%	51,36%
5	11,869	7,7578	7,8724	52,99%	50,77%
6	0,93367	-0,89786	-0,88222	203,99%	205,83%
7	5,3633	1,7504	1,8153	206,40%	195,45%
8	8,1195	3,5239	3,6338	130,41%	123,44%
9	9,0246	4,1137	4,2415	119,38%	112,77%
10	9,2046	4,2318	4,3634	117,51%	110,95%
11	-2806	-1627,6	-1669,3	72,40%	68,09%
12	888,76	438,48	705,27	102,69%	26,02%
13	3577,1	1846,3	2353,7	93,74%	51,98%
14	4603	2401,8	2989,3	91,65%	53,98%
15	4950,3	2640,9	3243,8	87,45%	52,61%
			Máximos	350%	397%

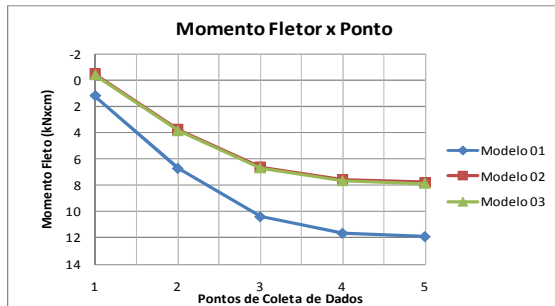


Gráfico 5.54: Momentos fletores coletados do pavimento 1 sem nervuras trecho 1.

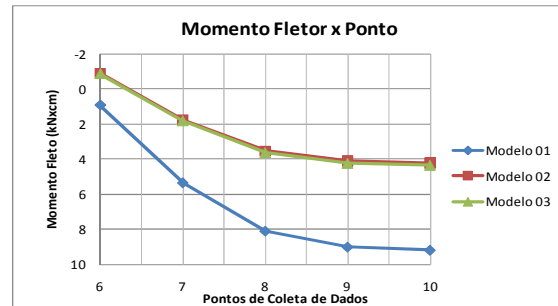


Gráfico 5.55: Momentos fletores coletados do pavimento 1 sem nervuras trecho 2.

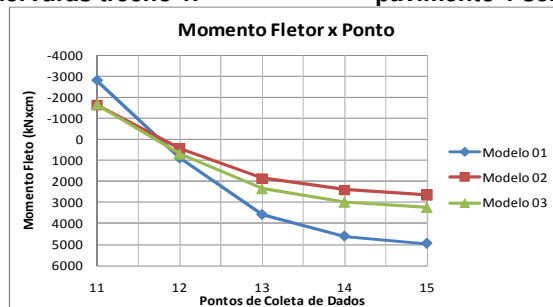


Gráfico 5.56: Momentos fletores coletados do pavimento 1 sem nervuras trecho 3.

Nas vigas de contorno as maiores diferenças são de 103% para o Modelo 02 e 54% para o Modelo 03.

Em todos os modelos verifica-se que os valores dos momentos fletores nas vigas de bordo não se diferenciam tanto quanto no meio do pavimento.

5.2.3 Forças axiais nas nervuras

São apresentados nesta seção os esforços axiais nas nervuras dos pavimentos quadrados estudados. É importante notar que os esforços axiais ficam mais pronunciados nos modelos excêntricos do que no modelo concêntrico.

Na Tabela 5.20 e no Gráfico 5.57 até o Gráfico 5.61 são apresentados os valores e diagramas das forças axiais atuantes no pavimento quadrado com nove nervuras por lado.

Tabela 5.20: Forças axiais do pavimento 1 número de nervuras 9 e espessura de nervura 8cm (kN).

Pto	Força axial		
	M01	M02	M03
1	0,041112	4,6628	4,5273
2	-0,022029	16,87	15,465
3	-0,089988	25,934	23,649
4	-0,13721	32,132	29,316
5	-0,16182	35,559	32,461
6	-0,16639	36,242	33,087
7	0,039272	4,5484	4,4051
8	-0,031089	16,472	15,106
9	-0,1048	25,306	23,056
10	-0,15474	31,377	28,567
11	-0,18053	34,749	31,639
12	-0,18532	35,422	32,251
13	0,034411	4,2429	4,0836
14	-0,061452	14,999	13,777
15	-0,15498	23,145	20,993
16	-0,21332	28,857	26,064
17	-0,24231	32,023	28,883
18	-0,24764	32,65	29,441
19	-0,16381	-7,4617	-6,9294
20	-0,42939	3,9256	3,1525
21	-0,52198	11,204	9,1232
22	-0,53585	14,45	11,71
23	-0,53823	15,826	12,778
24	-0,53862	16,104	12,994
25	-4,5835	2,1562	3,7597
26	-3,5799	23,983	22,588
27	-3,0231	46,472	41,948
28	-2,7348	62,562	55,606
29	-2,5978	71,796	63,413
30	-2,5733	73,588	64,911

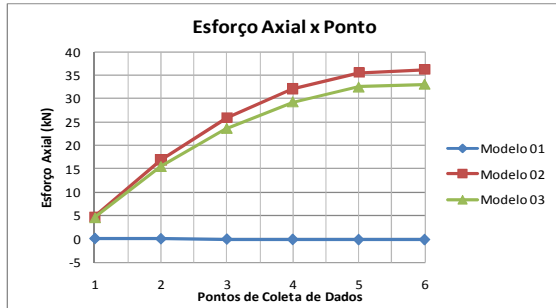


Gráfico 5.57:Forças axiais no pavimento 1 número de nervuras 9 e espessura de nervura 8cm trecho 1.

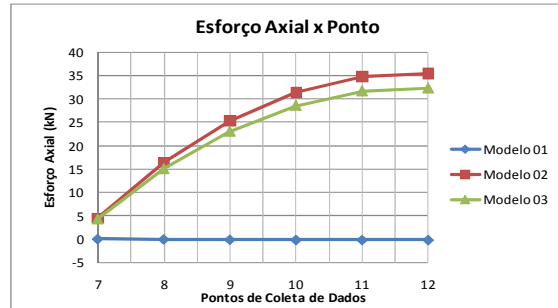


Gráfico 5.58:Forças axiais no pavimento 1 número de nervuras 9 e espessura de nervura 8cm trecho 2.

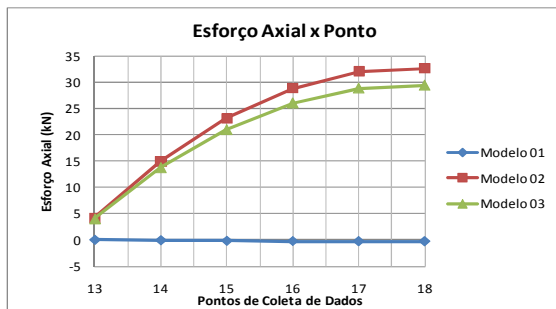


Gráfico 5.59:Forças axiais no pavimento 1 número de nervuras 9 e espessura de nervura 8cm trecho 3.

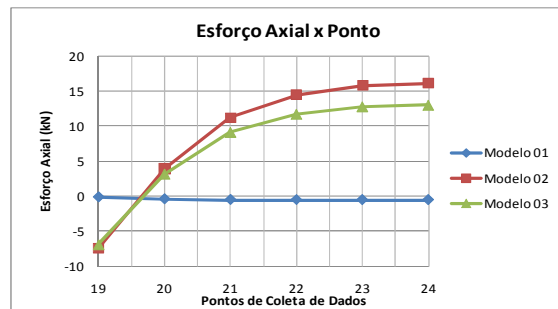


Gráfico 5.60:Forças axiais no pavimento 1 número de nervuras 9 e espessura de nervura 8cm trecho 4.

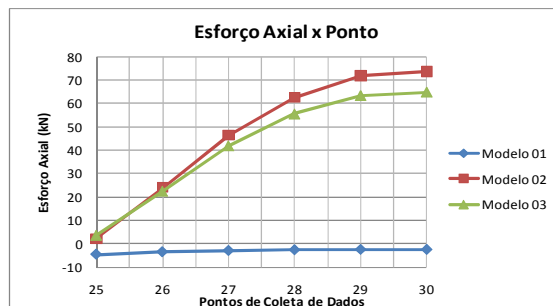


Gráfico 5.61:Forças axiais no pavimento 1 número de nervuras 9 e espessura de nervura 8cm trecho 5.

Fica claro que devido à consideração da excentricidade no pavimento surgem esforços axiais que no modelo concêntrico são irrisórios.

São apresentados na Tabela 5.21 e no Gráfico 5.62 até o Gráfico 5.65 os valores e diagramas de forças axiais no pavimento com sete nervuras por lado.

Tabela 5.21: Forças axiais do pavimento 1 número de nervuras 7 e espessura de nervura 8cm (kN).

Pto	Força Axial na Nervura		
	M01	M02	M03
1	0,041448	7,0367	6,8244
2	-0,0478	26,305	24,456
3	-0,13396	39,077	36,288
4	-0,1816	46,025	42,769
5	-0,19065	47,399	44,051
6	0,037141	6,8111	6,564
7	-0,067	25,124	23,355
8	-0,1631	37,336	34,577
9	-0,21424	44,063	40,79
10	-0,22383	45,396	42,022
11	0,033185	5,7739	5,6235
12	-0,1367	20,575	19,084
13	-0,26735	31,507	28,813
14	-0,32458	37,452	34,139
15	-0,33457	38,591	35,162
16	-4,6551	2,1792	3,7717
17	-3,5203	31,501	28,863
18	-2,9887	56,886	50,541
19	-2,7569	71,25	62,608
20	-2,7157	74,08	64,959

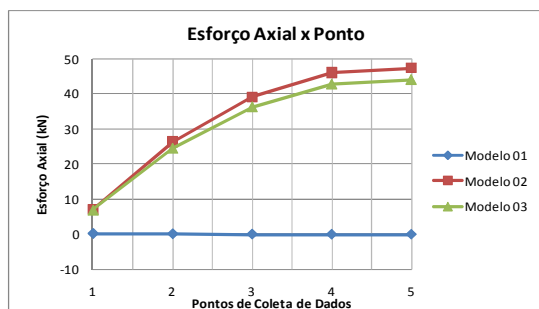


Gráfico 5.62: Forças axiais no pavimento 1 número de nervuras 7 e espessura de nervura 8cm trecho 1.

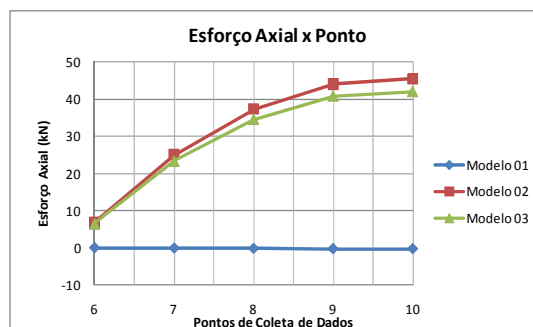


Gráfico 5.63: Forças axiais no pavimento 1 número de nervuras 7 e espessura de nervura 8cm trecho 2.

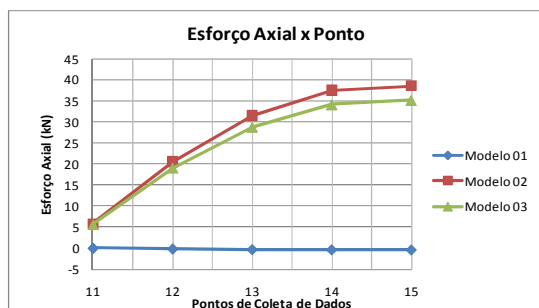


Gráfico 5.64: Forças axiais no pavimento 1 número de nervuras 7 e espessura de nervura 8cm trecho 3.

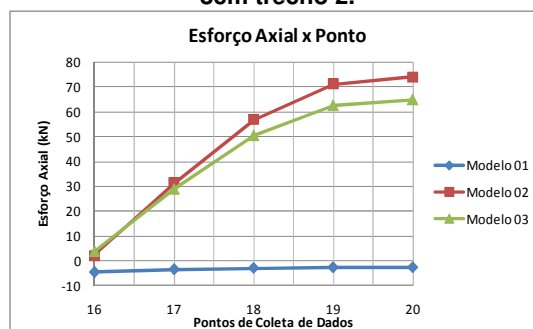


Gráfico 5.65: Forças axiais no pavimento 1 número de nervuras 7 e espessura de nervura 8cm trecho 4.

Neste pavimento também apresentam esforços axiais mais pronunciados nos modelos excêntricos que no modelo concêntrico. Isto pode sugerir, que apesar

dos deslocamentos serem menores, as tensões podem ser as mesmas entre o modelo concêntrico e excêntrico. Isto será analisado adiante.

Na Tabela 5.22 e no Gráfico 5.66 até o Gráfico 5.68 são apresentados os valores e diagramas das forças axiais atuantes no pavimento quadrado com cinco nervuras por lado.

Tabela 5.22: Forças axiais do pavimento 1 número de nervuras 5 e espessura de nervura 8cm (kN).

Pto	Força Axial na Nervura		
	M01	M02	M03
1	0,047312	6,9868	6,8345
2	-0,08327	42,391	40,04
3	-0,19532	61,32	58,012
4	-0,22542	66,344	62,783
5	0,043085	7,5191	7,3342
6	-0,13008	38,134	36,021
7	-0,26091	55,784	52,467
8	-0,29307	60,495	56,867
9	-4,8612	0,57822	2,2287
10	-3,4805	39,245	35,225
11	-2,978	67,592	59,158
12	-2,8669	75,065	65,267

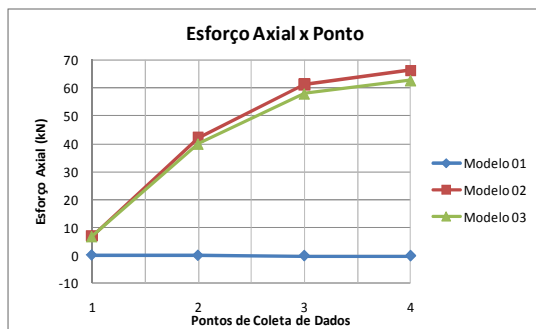


Gráfico 5.66: Forças axiais no pavimento 1 número de nervuras 5 e espessura de nervura 8cm trecho 1.

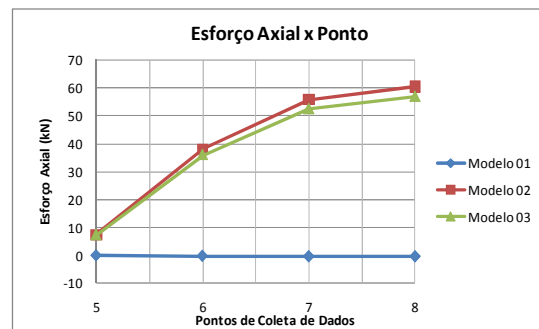


Gráfico 5.67: Forças axiais no pavimento 1 número de nervuras 5 e espessura de nervura 8cm trecho 2.

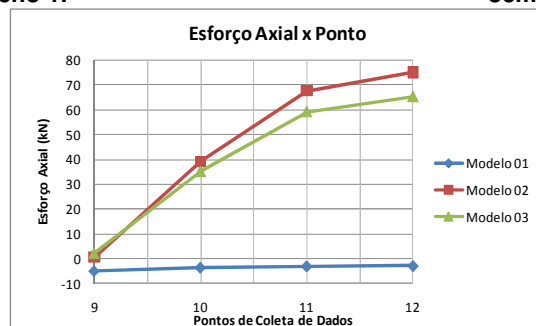


Gráfico 5.68: Forças axiais no pavimento 1 número de nervuras 5 e espessura de nervura 8cm trecho 3.

Apresentam-se na Tabela 5.23 os valores dos esforços axiais obtidos nos trechos do pavimento quadrado com quatro nervuras por lado e do Gráfico 5.69 até

o Gráfico 5.71 os diagramas de esforços normais. Os dados mostrados em vermelhos são de pontos que coincidem em elementos de casca e devem ser entendidos com unidade kN/cm. Esta convenção também foi adotada nas tabelas seguintes.

Tabela 5.23: Forças axiais do pavimento 1 número de nervuras 4 e espessura de nervura 8cm (kN).

Pto	Força Axial Nos Pontos		
	M01	M02	M03
1	0,000541	0,091678	0,086612
2	0,003635	0,54468	0,50408
3	0,005086	0,69911	0,64855
4	0,005116	0,72099	0,66932
5	0,044057	10,786	10,5110
6	-0,14071	56,583	53,9170
7	-0,26168	76,988	73,3590
8	-0,26792	78,788	74,9570
9	-4,913	0,49557	2,1903
10	-3,4167	47,951	42,5000
11	-2,9892	74,585	64,8350
12	-2,9656	78,967	69,0210

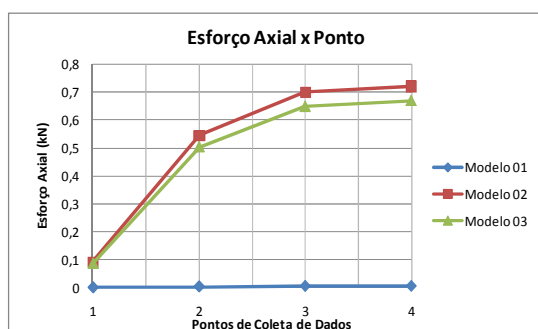


Gráfico 5.69: Forças axiais no pavimento 1 número de nervuras 4 e espessura de nervura 8cm trecho 1.

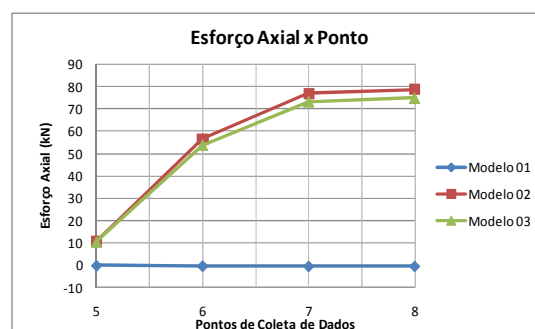


Gráfico 5.70: Forças axiais no pavimento 1 número de nervuras 4 e espessura de nervura 8cm trecho 2.

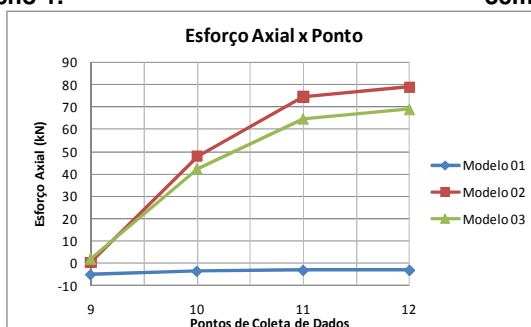


Gráfico 5.71: Forças axiais no pavimento 1 número de nervuras 4 e espessura de nervura 8cm trecho 3.

Os dados mostrados em vermelho na Tabela 5.23 representam esforços retirados nos elementos de casca e tem unidade de kN/cm. Percebem-se mais uma

vez que os modelos excêntricos apresentam esforços axiais mais pronunciados na nervura.

Na Tabela 5.24 e, Do Gráfico 5.72 ao Gráfico 5.74, apresentam os esforços axiais do pavimento quadrado com três nervuras por lado.

Tabela 5.24: Forças axiais do pavimento 1 número de nervuras 3 e espessura de nervura 8cm (kN).

Pto	Força Axial na Nervura		
	M01	M02	M03
1	0,04714	15,562	15,157
2	-0,07802	62,99	60,435
3	-0,17508	84,313	81,167
4	-0,2548	101,71	97,798
5	-0,26752	102,89	99,135
6	0,030349	4,124	4,3811
7	-0,20163	45,549	43,346
8	-0,34344	63,645	60,627
9	-0,42946	78,649	74,546
10	-0,44031	79,281	75,323
11	-5,0173	0,37992	2,1549
12	-3,7979	37,979	34,093
13	-3,3589	58,692	51,434
14	-3,1055	79,414	69,447
15	-3,0752	77,994	67,473

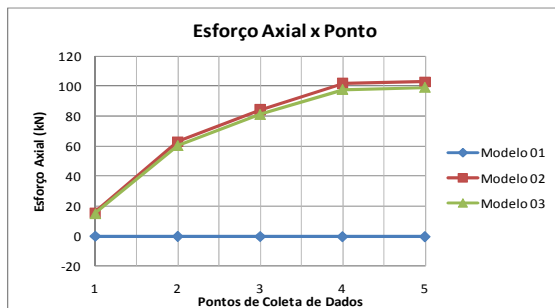


Gráfico 5.72:Forças axiais no pavimento 1 número de nervuras 3 e espessura de nervura 8cm trecho 1.

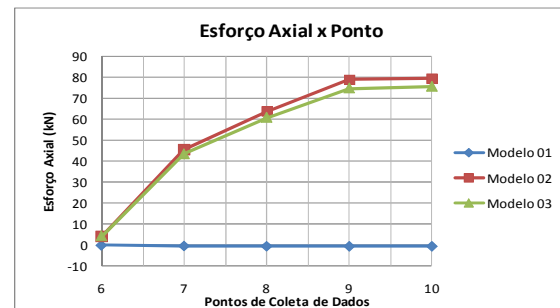


Gráfico 5.73:Forças axiais no pavimento 1 número de nervuras 3 e espessura de nervura 8cm trecho 2.

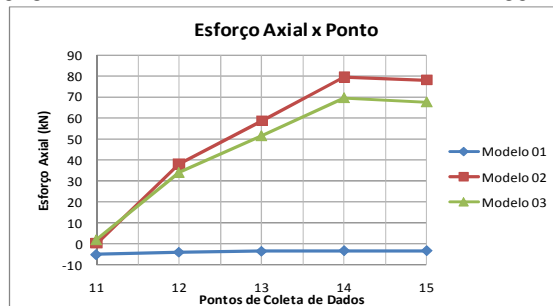


Gráfico 5.74:Forças axiais no pavimento 1 número de nervuras 3 e espessura de nervura 8cm trecho 3.

Os esforços normais nas nervuras são maiores nos modelos excêntricos que no modelo concêntrico, e a variação apresenta uma forma parabólica em todos os modelos.

A Tabela 5.25 e o Gráfico 5.76 até o Gráfico 5.78 apresentam os valores e os diagramas dos esforços axiais no pavimento quadrado com duas nervuras por lado.

Tabela 5.25: Forças axiais do pavimento 1 número de nervuras 2 e espessura de nervura 8cm (kN).

Pto	Força Axial no Ponto		
	M01	M02	M03
1	-0,00023	-0,09578	-0,09708
2	-0,00344	-0,47898	-0,4483
3	-0,00601	-0,61171	-0,5734
4	-0,00644	-0,71481	-0,6721
5	0,042694	12,488	12,598
6	-0,15081	79,044	75,919
7	-0,33528	113,84	110,19
8	-0,37408	127,17	122,41
9	-0,01695	-0,07818	-0,10415
10	-0,00696	-0,31575	-0,30069
11	-0,00348	-0,53703	-0,49554
12	-0,00263	-0,40355	-0,37906
13	-5,2068	0,55649	2,52
14	-3,8922	45,476	41,272
15	-3,3239	72,779	63,081
16	-3,2193	88,871	78,563

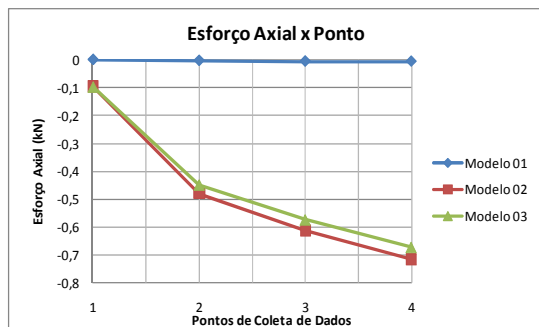


Gráfico 5.75: Forças axiais no pavimento 1 número de nervuras 2 e espessura de nervura 8cm trecho 1.

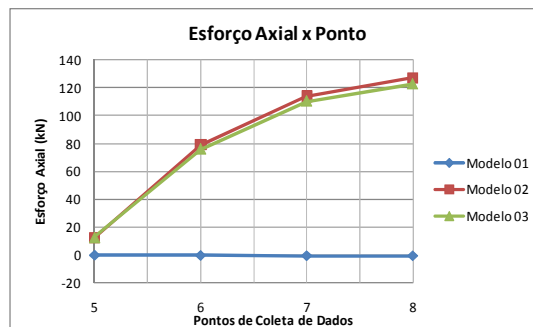


Gráfico 5.76: Forças axiais no pavimento 1 número de nervuras 2 e espessura de nervura 8cm trecho 2.

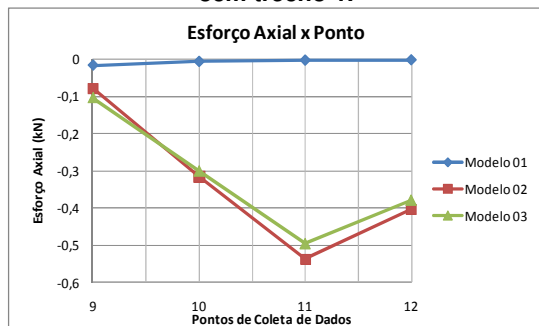


Gráfico 5.77: Forças axiais no pavimento 1 número de nervuras 2 e espessura de nervura 8cm trecho 3.

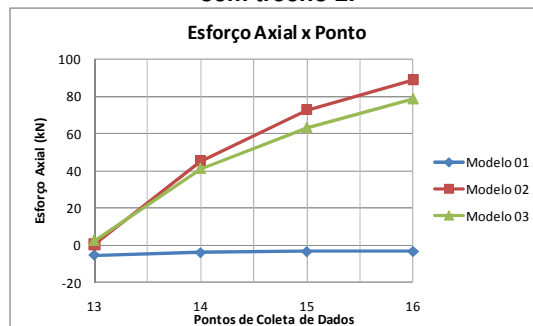


Gráfico 5.78: Forças axiais no pavimento 1 número de nervuras 2 e espessura de nervura 8cm trecho 4.

Os dados em vermelho da Tabela 5.25 também representam esforços distribuídos na face de um elemento de casca, e sua unidade é kN/cm. Este pavimento também mostrou esforços axiais maiores nos modelos excêntricos que no modelo concêntrico.

São apresentados no Gráfico 5.79 até o Gráfico 5.81 os diagramas de esforços axiais e na Tabela 5.26 os valores dos esforços para o pavimento quadrado com uma nervura por lado.

Tabela 5.26: Forças axiais do pavimento 1 número de nervuras 1 e espessura de nervura 8cm (kN).

Pto	Esforço Axial nos Pontos		
	M01	M02	M03
1	0,049988	31,961	32,18
2	-0,14893	153,23	148,16
3	-0,29	192,62	187,52
4	-0,33888	197,29	193,25
5	-0,01539	-0,26176	-0,26625
6	-0,00958	-0,40789	-0,38927
7	-0,00629	-0,6193	-0,58039
8	-0,00534	-0,89431	-0,83115
9	-5,5051	6,6787	9,2188
10	-3,9885	65,245	60,423
11	-3,5546	92,738	82,612
12	-3,4458	89,76	77,111

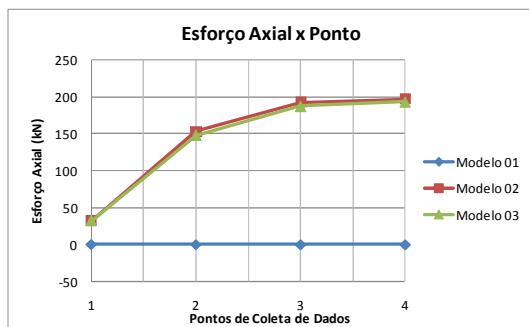


Gráfico 5.79: Forças axiais no pavimento 1 número de nervuras 1 e espessura de nervura 8cm trecho 1.

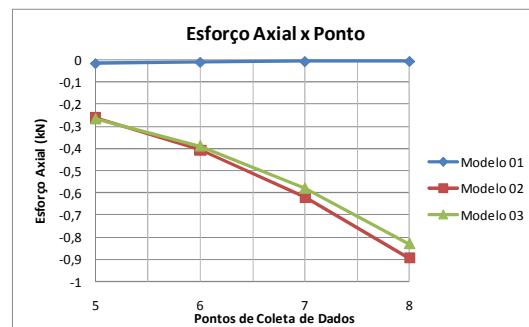


Gráfico 5.80: Forças axiais no pavimento 1 número de nervuras 1 e espessura de nervura 8cm trecho 2.

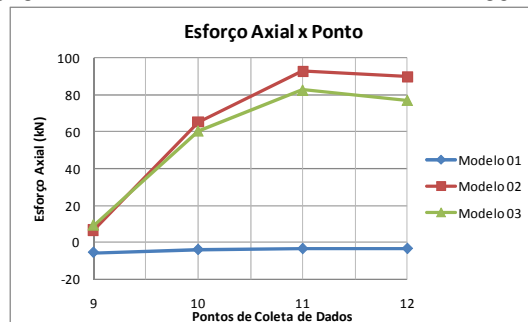


Gráfico 5.81: Forças axiais no pavimento 1 número de nervuras 1 e espessura de nervura 8cm trecho 3.

Mesmo em trechos em que só existam a capa da laje, como no trecho 2, observa-se esforços axiais, porém de compressão.

A Tabela 5.27 e o Gráfico 5.82 até o Gráfico 5.84 apresentam os valores dos esforços axiais nas nervuras e os respectivos diagramas para o pavimento sem nervuras.

Tabela 5.27: Esforços axiais coletados do pavimento 01 número sem nervuras (kN).

Pto	Força Axial nos Pontos		
	M01	M02	M03
1	-0,01585	-0,75605	-0,6786
2	-0,01343	-0,44726	-0,41688
3	-0,01058	-0,38635	-0,36697
4	-0,0094	-0,38765	-0,36898
5	-0,00915	-0,38911	-0,37041
6	-0,01788	-0,32465	-0,30437
7	-0,0118	-0,30566	-0,29646
8	-0,00704	-0,37119	-0,35731
9	-0,00584	-0,39245	-0,37581
10	-0,00563	-0,3965	-0,37922
11	-6,102	46,465	52,23
12	-4,702	83,926	82,154
13	-4,0766	119,36	111,95
14	-3,9006	132,29	123,01
15	-3,8668	134,94	125,29

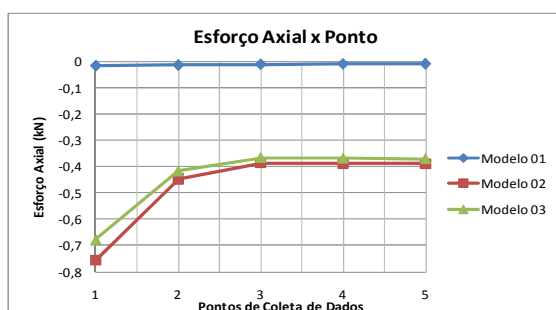


Gráfico 5.82: Esforços Axiais coletados do pavimento 1 sem nervuras trecho 1.

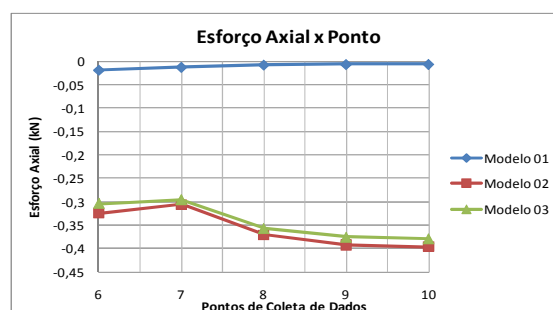


Gráfico 5.83: Esforços Axiais coletados do pavimento 1 sem nervuras trecho 2.

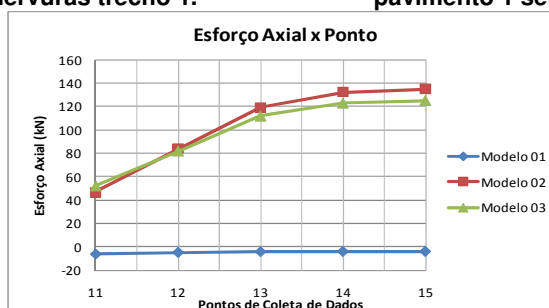


Gráfico 5.84: Esforços Axiais coletados do pavimento 1 sem nervuras trecho 3.

Estes dados mostram que com a consideração da excentricidade os esforços axiais ficam mais pronunciados que nos modelos concêntricos.

5.2.4 Cisalhamento nos pontos

O cisalhamento nos modelos não sofreu alterações substanciais. Na Tabela 5.28, e do Gráfico 5.85 ao Gráfico 5.89, são apresentados os valores e diagramas de cisalhamento nas seções do pavimento com nove nervuras por lado como exemplo de que este esforço não sofre efeitos na consideração da excentricidade.

Tabela 5.28: Cisalhamento do pavimento 1 número de nervuras 9 e espessura de nervura 8cm (kN).

Pto	Cisalhamento			Erro de M01 em relação a	
	M01	M02	M03	M02	M03
1	7,5519	7,2685	7,2998	3,90%	3,45%
2	5,805	5,426	5,4884	6,98%	5,77%
3	4,1283	3,8567	3,8964	7,04%	5,95%
4	2,5474	2,4658	2,4806	3,31%	2,69%
5	1,1417	1,1399	1,1444	0,16%	0,24%
6	-0,17252	-0,17421	-0,17456	0,97%	1,17%
7	7,4458	7,1001	7,1448	4,87%	4,21%
8	5,655	5,3015	5,3564	6,67%	5,57%
9	3,9493	3,804	3,8296	3,82%	3,13%
10	2,4151	2,4472	2,4545	1,31%	1,61%
11	1,0979	1,1336	1,1356	3,15%	3,32%
12	-0,12856	-0,16811	-0,16588	23,53%	22,50%
13	7,1097	6,3996	6,4971	11,10%	9,43%
14	5,1506	4,9603	4,9855	3,84%	3,31%
15	3,4386	3,6823	3,6763	6,62%	6,47%
16	2,1194	2,3693	2,3576	10,55%	10,10%
17	1,0147	1,0999	1,0953	7,75%	7,36%
18	-0,044099	-0,13535	-0,12606	67,42%	65,02%
19	4,5198	6,7052	6,5501	32,59%	31,00%
20	3,1152	5,2965	5,144	41,18%	39,44%
21	2,6708	2,8739	2,8569	7,07%	6,51%
22	1,9078	1,6921	1,7368	12,75%	9,85%
23	0,97813	0,86709	0,89104	12,81%	9,77%
24	0,005578	0,085457	0,067839	93,47%	91,78%
25	33,896	33,706	33,706	0,56%	0,56%
26	28,4	25,885	26,07	9,72%	8,94%
27	21,04	19,947	20,038	5,48%	5,00%
28	12,963	12,553	12,57	3,27%	3,13%
29	4,542	4,4362	4,4346	2,38%	2,42%
30	-3,9901	-3,8547	-3,8602	3,51%	3,37%
			Máximos	93%	92%

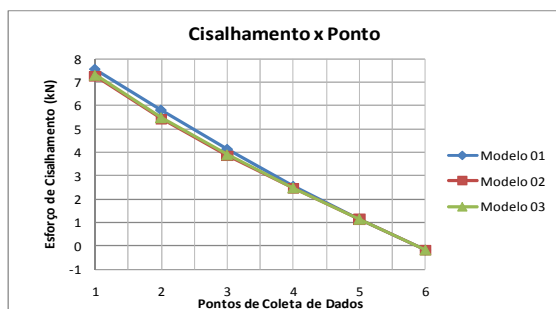


Gráfico 5.85: Cisalhamento no pavimento 1 número de nervuras 9 e espessura de nervura 8cm trecho 1.

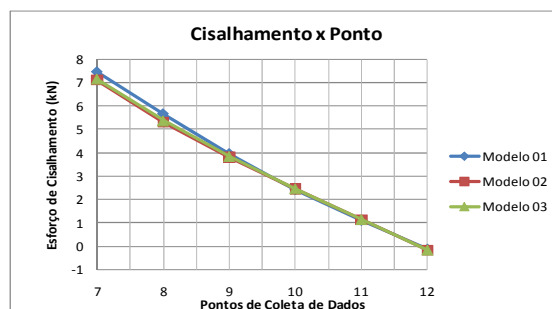


Gráfico 5.86: Cisalhamento no pavimento 1 número de nervuras 9 e espessura de nervura 8cm trecho 2.

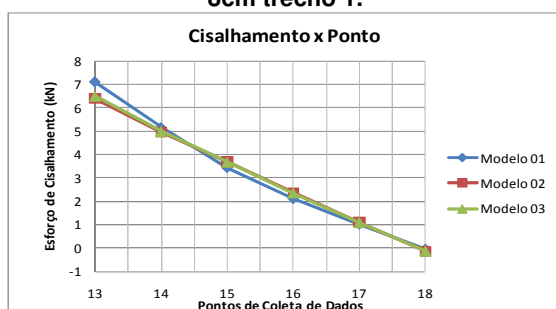


Gráfico 5.87: Cisalhamento no pavimento 1 número de nervuras 9 e espessura de nervura 8cm trecho 3.

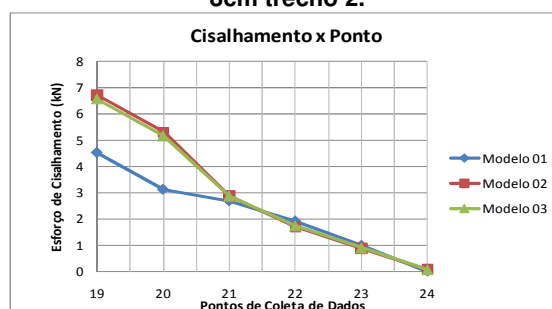


Gráfico 5.88: Cisalhamento no pavimento 1 número de nervuras 9 e espessura de nervura 8cm trecho 4.

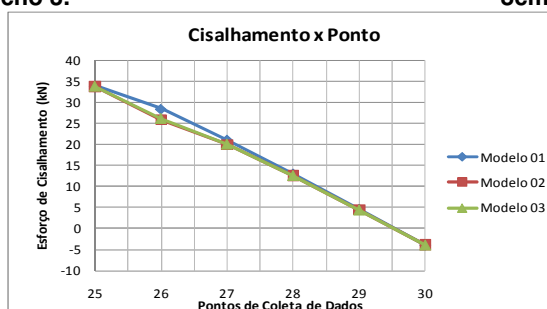


Gráfico 5.89: Cisalhamento no pavimento 1 número de nervuras 9 e espessura de nervura 8cm trecho 5.

Percebe-se que o cisalhamento quase não sofre variações, tanto em valor quanto em comportamento quando se considera a excentricidade.

5.2.5 Momento fletor na direção X da capa

Os dados obtidos nesta seção são referentes aos momentos fletores na capa e na direção X global do pavimento.

A Tabela 5.29, e do Gráfico 5.90 até o Gráfico 5.93, são apresentados os valores e diagramas de momento fletor na direção X da capa do pavimento com nove nervuras por lado.

Tabela 5.29: Momento fletor m_x na capa do pavimento 1 número de nervuras 9 e espessura de nervura 8cm (kNxc/cm).

Pto	Momento Mx na Capa			Erro de M01 em relação a	
	M01	M02	M03	M02	M03
A	0,13316	0,088597	0,083329	50,30%	59,80%
B	0,16325	0,067401	0,065526	142,21%	149,14%
C	0,24724	0,10926	0,10548	126,29%	134,40%
D	0,30352	0,13644	0,13163	122,46%	130,59%
E	0,33374	0,15211	0,14667	119,41%	127,54%
F	0,12184	0,088775	0,083865	37,25%	45,28%
G	0,15767	0,064895	0,063169	142,96%	149,60%
H	0,23799	0,10568	0,10207	125,20%	133,16%
I	0,29021	0,13263	0,12782	118,81%	127,05%
J	0,095812	0,079864	0,075967	19,97%	26,12%
K	0,14402	0,056928	0,055872	152,99%	157,77%
L	0,21486	0,096162	0,093001	123,44%	131,03%
M	0,031397	0,063737	0,06134	50,74%	48,81%
N	0,09783	0,04246	0,042757	130,41%	128,80%
O	0,0057907	0,025323	0,027041	77,13%	78,59%
			Máximos	153%	158%

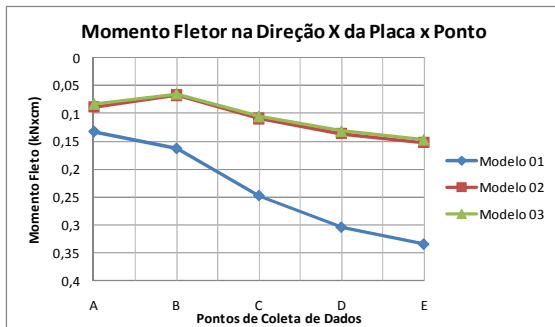


Gráfico 5.90: Momento fletor m_x na capa do pavimento 1 número de nervuras 9 e espessura de nervura 8cm trecho 6.

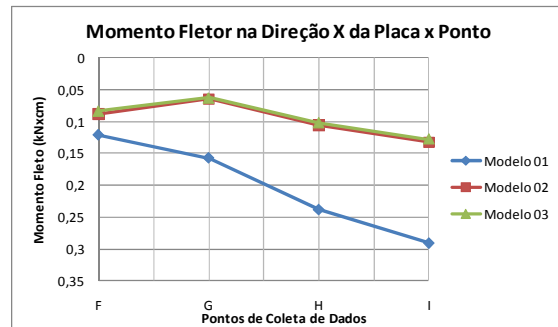


Gráfico 5.91: Momento fletor m_x na capa do pavimento 1 número de nervuras 9 e espessura de nervura 8cm trecho 7.

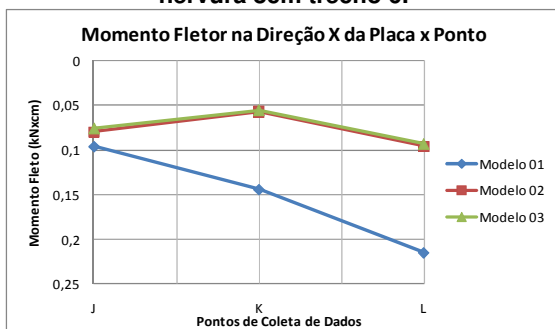


Gráfico 5.92: Momento fletor m_x na capa do pavimento 1 número de nervuras 9 e espessura de nervura 8cm trecho 8.

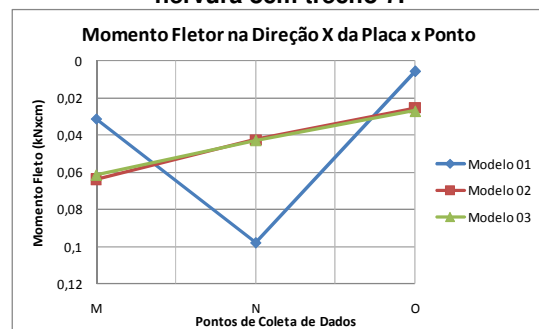


Gráfico 5.93: Momento fletor m_x na capa do pavimento 1 número de nervuras 9 e espessura de nervura 8cm trecho 9.

O modelo concêntrico apresenta momento fletor até 158% maior que o Modelo 03, e 153% maior que o Modelo 02. Numa visão geral as diferenças ficam em torno de 120% para o Modelo 02 e 130% para o Modelo 03.

Na seqüência, são apresentados a Tabela 5.30 e do Gráfico 5.94 ao Gráfico 5.96 dos momentos fletores na direção X da capa do pavimento com sete nervuras por lado.

Tabela 5.30: Momento fletor m_x na capa do pavimento 1 número de nervuras 7 e espessura de nervura 8cm (kNxcm/cm).

Pto	Momento Mx na Capa			Erro de M01 em relação a	
	M01	M02	M03	M02	M03
A	0,024555	0,093932	0,088994	73,86%	72,41%
B	0,088892	0,095005	0,093045	6,43%	4,46%
C	0,13133	0,14759	0,14387	11,02%	8,72%
D	0,15002	0,17634	0,17165	14,93%	12,60%
E	0,18654	0,093275	0,088747	99,99%	110,19%
F	0,2248	0,088519	0,086913	153,96%	158,65%
G	0,23972	0,1394	0,13573	71,97%	76,62%
H	0,32826	0,079686	0,07632	311,94%	330,11%
I	0,35375	0,071186	0,070575	396,94%	401,24%
J	0,41364	0,038448	0,038956	975,84%	961,81%
			Máximos	976%	962%

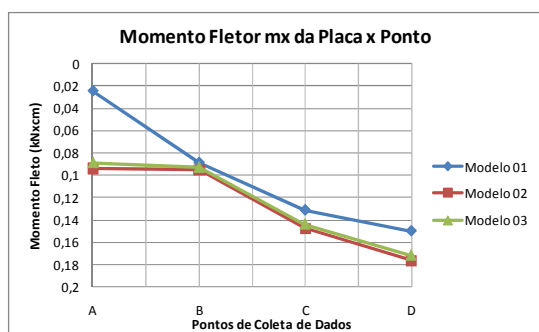


Gráfico 5.94: Momento fletor m_x na capa do pavimento 1 número de nervuras 7 e espessura de nervura 8cm trecho 5.

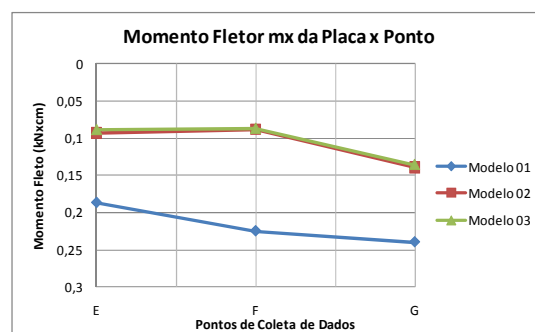


Gráfico 5.95: Momento fletor m_x na capa do pavimento 1 número de nervuras 7 e espessura de nervura 8cm trecho 6.

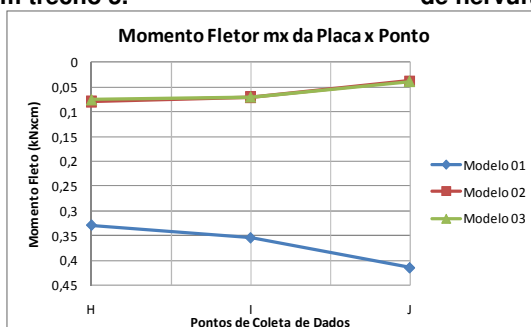


Gráfico 5.96: Momento fletor m_x na capa do pavimento 1 número de nervuras 7 e espessura de nervura 8cm trecho 7.

O modelo excêntrico Modelo 03 apresentou momento fletor 962% menor que o modelo concêntrico e o Modelo 02 obteve diferença de 976% menor. Nota-se que no trecho 01, que fica no centro do pavimento as diferenças entre os esforços não

são grandes, mas nas regiões mais perto dos pilares elas se mostram mais pronunciadas.

Na Tabela 5.31 apresentam os valores dos momentos fletores na direção X da capa e no Gráfico 5.97 e Gráfico 5.98 os respectivos diagramas.

Tabela 5.31: Momento fletor m_x na capa do pavimento 1 número de nervuras 5 e espessura de nervura 8cm (kNxc/cm).

Pto	Momento Mx na Capa			Erro de M01 em relação a	
	M01	M02	M03	M02	M03
A	0,34673	0,22112	0,21645	56,81%	60,19%
B	0,52337	0,27403	0,27072	90,99%	93,33%
C	0,65228	0,32771	0,32352	99,04%	101,62%
D	0,30245	0,20976	0,20627	44,19%	46,63%
E	0,45695	0,25212	0,24923	81,24%	83,34%
F	0,2112	0,13906	0,13976	51,88%	51,12%
			Máximos	99%	102%

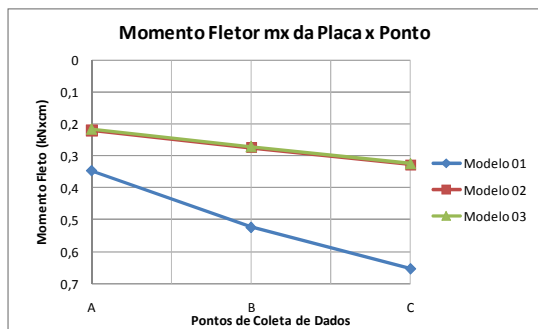


Gráfico 5.97: Momento fletor m_x na capa do pavimento 1 número de nervuras 5 e espessura de nervura 8cm trecho 4.

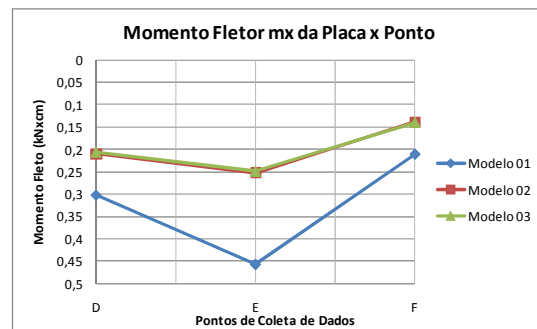


Gráfico 5.98: Momento fletor m_x na capa do pavimento 1 número de nervuras 5 e espessura de nervura 8cm trecho 5.

Neste pavimento os modelos excêntricos apresentaram esforços duas vezes menores que o modelo excêntrico. Neste pavimento as maiores diferenças se encontram no trecho próximo ao centro do pavimento.

A Tabela 5.32 apresenta os valores do momento fletor na direção X do pavimento com quatro nervuras por lado e o Gráfico 5.99 e o Gráfico 5.100 apresentam os diagramas.

Tabela 5.32: Momento fletor m_x na capa do pavimento 1 número de nervuras 4 e espessura de nervura 8cm (kNxcm/cm).

Pto	Momento Mx na Capa			Erro de M01 em relação a	
	M01	M02	M03	M02	M03
A	0,4581	0,27844	0,27432	64,52%	66,99%
B	0,71305	0,37019	0,36696	92,62%	94,31%
C	0,83627	0,42156	0,41765	98,38%	100,23%
D	0,42632	0,27962	0,27578	52,46%	54,59%
E	0,6546	0,35462	0,35131	84,59%	86,33%
F	0,31357	0,19857	0,19843	57,91%	58,03%
			Máximos	98%	100%

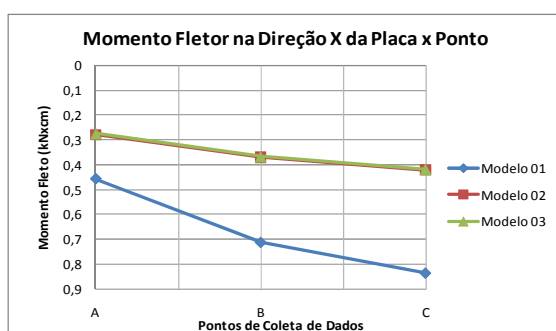


Gráfico 5.99: Momento fletor m_x na capa do pavimento 1 número de nervuras 4 e espessura de nervura 8cm trecho 4.

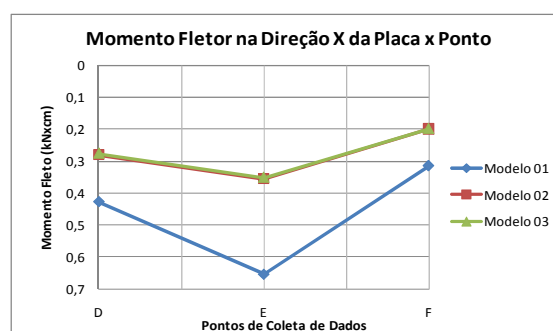


Gráfico 5.100: Momento fletor m_x na capa do pavimento 1 número de nervuras 4 e espessura de nervura 8cm trecho 5.

Neste pavimento os modelos excêntricos também apresentaram momentos fletores com a metade do valor do modelo concêntrico, e como no pavimento anterior as maiores diferenças foram no centro do pavimento.

Na Tabela 5.33 e do Gráfico 5.101 até o Gráfico 5.104 são apresentados valores e diagramas de momento fletor na capa na direção X do pavimento com três nervuras por lado. O erro apresentado na tabela é do modelo concêntrico (Modelo 01) em relação aos modelos excêntricos (Modelo 02 e Modelo 03).

Tabela 5.33: Momento fletor m_x na capa do pavimento 1 número de nervuras 3 e espessura de nervura 8cm (kNxc/cm).

Pto	Momento Mx na Capa			Erro de M01 em relação a	
	M01	M02	M03	M02	M03
A	-0,00753	-0,05183	-0,05986	85,47%	87,42%
B	0,26304	-0,00123	-0,0069	21447,18%	3914,94%
C	0,6074	0,163	0,1608	272,64%	277,74%
D	0,81741	0,31925	0,31539	156,04%	159,17%
E	0,75694	0,22699	0,22405	233,47%	237,84%
F	0,47458	0,26226	0,26087	80,96%	81,92%
G	0,62374	0,35383	0,35075	76,28%	77,83%
H	0,4084	-0,01826	-0,01983	2336,58%	2160,03%
I	0,94027	0,51235	0,50854	83,52%	84,90%
J	0,38665	0,23568	0,23413	64,06%	65,14%
K	0,47601	0,29692	0,29286	60,32%	62,54%
L	0,15538	-0,04837	-0,04793	421,26%	424,19%
M	0,19675	-0,40422	-0,3965	148,67%	149,62%
N	0,1935	-0,36864	-0,35856	152,49%	153,97%
			Máximos	21447%	3915%

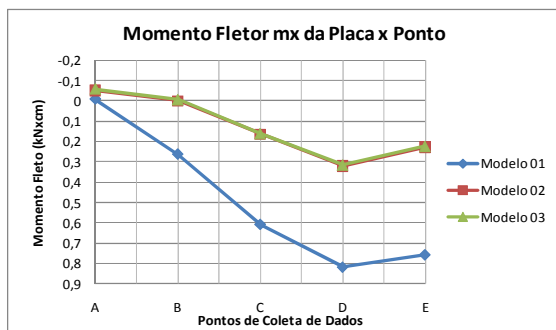


Gráfico 5.101: Momento fletor m_x na capa do pavimento 1 número de nervuras 3 e espessura de nervura 8cm trecho 4.

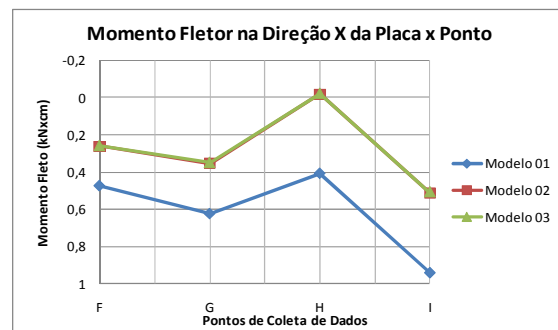


Gráfico 5.102: Momento fletor m_x na capa do pavimento 1 número de nervuras 3 e espessura de nervura 8cm trecho 5.

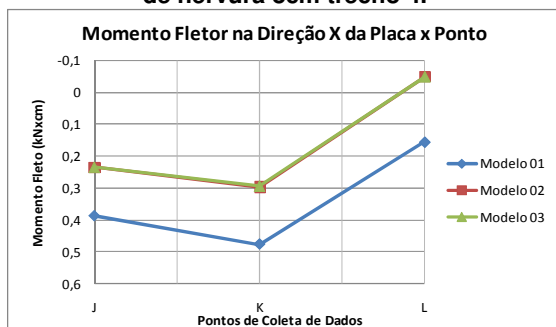


Gráfico 5.103: Momento fletor m_x na capa do pavimento 1 número de nervuras 3 e espessura de nervura 8cm trecho 6.

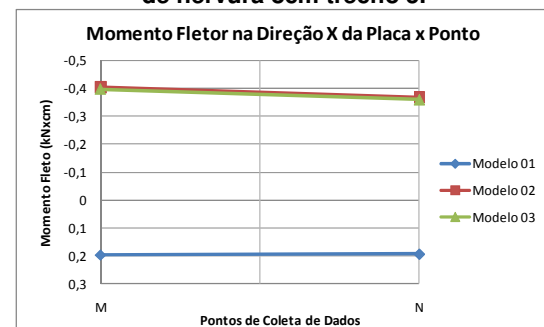


Gráfico 5.104: Momento fletor m_x na capa do pavimento 1 número de nervuras 3 e espessura de nervura 8cm trecho 7.

Apesar de serem visíveis picos com diferenças no momento entre vinte e quarenta vezes maiores no modelo concêntrico em relação aos excêntricos, houve pontos em que o sinal do momento mudou. Em pontos nos quais não houve perturbação pela mudança de sinal, a diferença máxima foi de até 238% para o Modelo 03 e 233% para o Modelo 02.

A Tabela 5.34 apresenta os valores dos momentos fletores na capa na direção X para o pavimento com duas nervuras por lado, e o erro do modelo concêntrico em relação aos modelos excêntricos. Do Gráfico 5.105 ao Gráfico 5.107, são apresentados os diagramas de momento fletor dos trechos.

Tabela 5.34: Momento fletor m_x na capa do pavimento 1 número de nervuras 2 e espessura de nervura 8cm (kNxc/cm).

Pto	Momento Mx na capa			Erro de M01 em relação a	
	M01	M02	M03	M02	M03
A	1,0876	0,65316	0,64974	66,51%	67,39%
B	1,2752	0,76312	0,75916	67,10%	67,98%
C	0,29929	-0,40816	-0,41091	173,33%	172,84%
D	1,6489	0,97383	0,97074	69,32%	69,86%
E	-0,51496	-0,52929	-0,52694	2,71%	2,27%
F	0,010719	-0,32154	-0,326	103,33%	103,29%
G	0,83291	0,20426	0,20261	307,77%	311,09%
H	0,78447	0,44974	0,44815	74,43%	75,05%
I	0,91839	0,56109	0,55688	63,68%	64,92%
J	0,92801	0,28348	0,28824	227,36%	221,96%
			Máximos	308%	311%

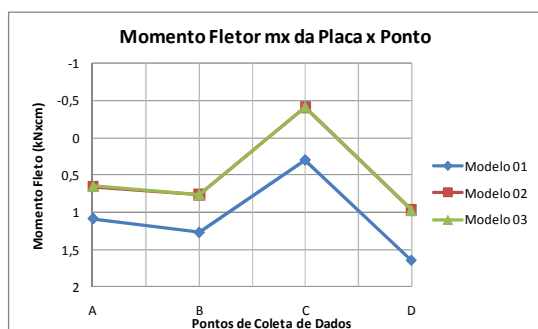


Gráfico 5.105: Momento fletor m_x na capa do pavimento 1 número de nervuras 2 e espessura de nervura 8cm trecho 5.

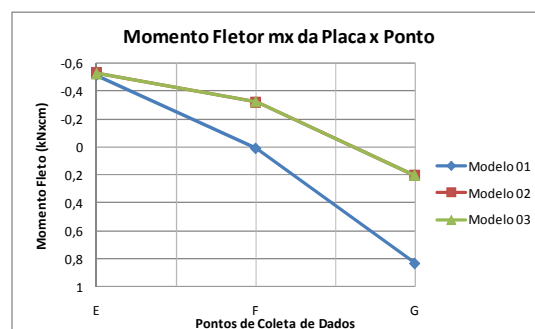


Gráfico 5.106: Momento fletor m_x na capa do pavimento 1 número de nervuras 2 e espessura de nervura 8cm trecho 6.

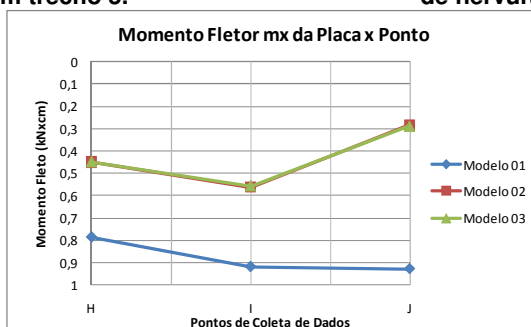


Gráfico 5.107: Momento fletor m_x na capa do pavimento 1 número de nervuras 2 e espessura de nervura 8cm trecho 7.

Neste modelo a diferença máxima também ficou em torno de 310% para os modelos excêntricos. No geral as diferenças ficaram em torno de 65% e 70%. Podem-se verificar algumas inversões de sinal em alguns pontos.

Na Tabela 5.35 estão representados os valores dos momentos fletores na direção x da capa e os erros do modelo concêntrico em relação aos excêntricos. O Gráfico 5.108 ate o Gráfico 5.110 são os diagramas de momento fletor na capa do pavimento com uma nervura por lado.

Tabela 5.35: Momento fletor m_x na capa do pavimento 1 número de nervuras 1 e espessura de nervura 8cm (kNxc/cm).

Pto	Momento Mx na Capa			Erro de M01 em relação a	
	M01	M02	M03	M02	M03
A	0,24901	0,032877	0,048252	657,40%	416,06%
B	1,6367	1,3144	1,3382	24,52%	22,31%
C	0,65622	1,2114	1,2231	45,83%	46,35%
D	-1,3197	-0,32999	-0,32935	299,92%	300,70%
E	0,47172	-0,16998	-0,16432	377,52%	387,07%
F	2,0097	1,2694	1,2701	58,32%	58,23%
G	2,1592	1,4154	1,4111	52,55%	53,02%
H	0,47807	-0,28636	-0,27797	266,95%	271,99%
I	2,3055	1,1006	1,1092	109,48%	107,85%
J	0,087092	-0,38183	-0,37694	122,81%	123,11%
			Máximos	657%	416%

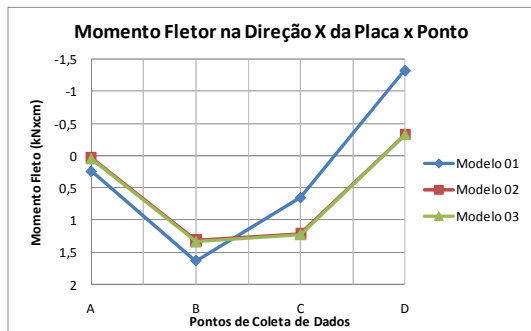


Gráfico 5.108: Momento fletor m_x na capa do pavimento 1 número de nervuras 1 e espessura de nervura 8cm trecho 4.

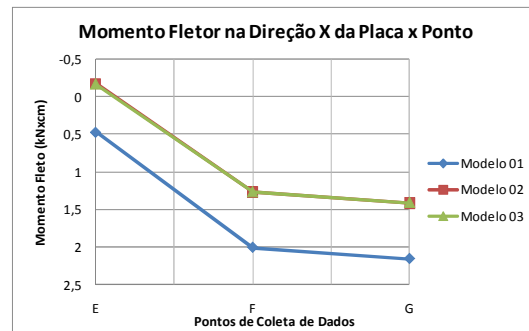


Gráfico 5.109: Momento fletor m_x na capa do pavimento 1 número de nervuras 1 e espessura de nervura 8cm trecho 5.

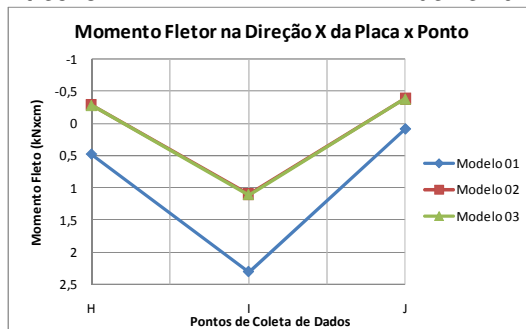


Gráfico 5.110: Momento fletor m_x na capa do pavimento 1 número de nervuras 1 e espessura de nervura 8cm trecho 6.

Neste pavimento observa-se grandes diferenças próximas aos pilares, onde é uma região rígida. Porém a diferença máxima se encontra meio do vão da viga de contorno.

Onde só existem elementos de casca as diferenças ficam em torno de 50% para os modelos excêntricos.

A Tabela 5.36 mostra os valores e erros em relação aos modelos excêntricos dos momentos fletores na capa e na direção X para o pavimento sem nervuras e o Gráfico 5.111 até o Gráfico 5.113 apresentam os diagramas.

Tabela 5.36: Momentos fletores m_x da capa do pavimento 01 número sem nervuras (kNxc/cm).

Pto	Momento Mx na Capa			Erro de M01 em relação a	
	M01	M02	M03	M02	M03
A	1,1881	-0,47599	-0,39981	349,61%	397,17%
B	6,7018	3,7556	3,866	78,45%	73,35%
C	10,365	6,5832	6,6981	57,45%	54,75%
D	11,869	7,7578	7,8724	52,99%	50,77%
E	1,0934	-0,68527	-0,635	259,56%	272,19%
F	6,2188	2,9887	3,0781	108,08%	102,03%
G	9,5508	5,4531	5,562	75,14%	71,72%
H	0,81345	-0,97295	-0,97583	183,61%	183,36%
I	4,6932	0,81867	0,87112	473,27%	438,75%
J	0,13319	-1,1683	-1,2068	111,40%	111,04%
			Máximos	473%	439%

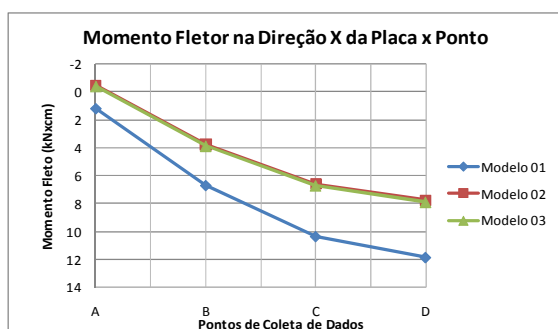


Gráfico 5.111: Momento fletor m_x na capa do pavimento 1 sem nervuras trecho 4.

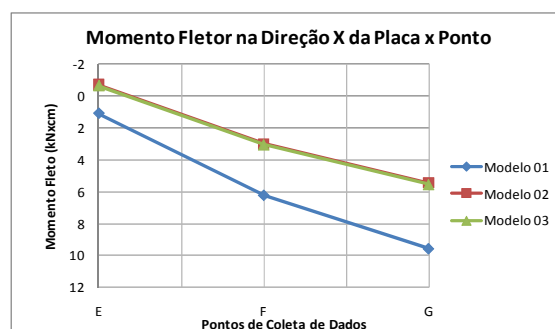


Gráfico 5.112: Momento fletor m_x na capa do pavimento 1 sem nervuras trecho 5.

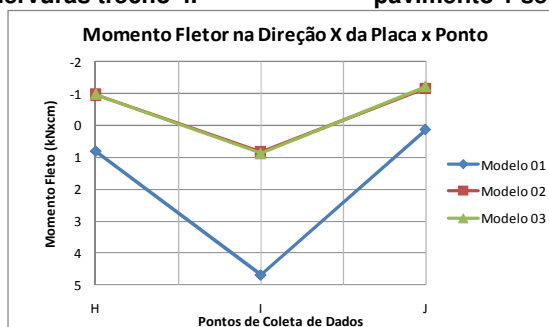


Gráfico 5.113: Momento fletor m_x na capa do pavimento 1 sem nervuras trecho 6.

Os momentos fletores têm comportamentos parecidos, e as diferenças máximas são de 437% para o Modelo 02 e 439% para o Modelo 03.

É perceptível que em todos os casos o momento fletor na capa na direção X é menor nos modelos excêntrico do que no modelo concêntrico.

5.2.5.1 Momento fletor na direção Y da capa

Serão apresentados os momentos fletores na direção Y global do pavimento. A Tabela 5.37 e o Gráfico 5.114 até o Gráfico 5.117 mostram os valores e os diagramas dos momentos fletores na direção Y do pavimento quadrado com nove nervuras. Os erros explicitados nas tabelas são do modelo concêntrico relativos aos modelos excêntricos, que por admitirem a excentricidade, são mais realistas.

Tabela 5.37: Momento fletor m_y na capa do pavimento 1 número de nervuras 9 e espessura de nervura 8cm (kNxc/cm).

Pto	Momento My na Capa			Erro de M01 em relação a	
	M01	M02	M03	M02	M03
A	0,063738	0,012017	0,013494	430,40%	372,34%
B	0,20081	0,11318	0,10731	77,43%	87,13%
C	0,26104	0,13362	0,1276	95,36%	104,58%
D	0,30692	0,14754	0,14165	108,02%	116,67%
E	0,33406	0,15536	0,1496	115,02%	123,30%
F	0,061494	0,013251	0,014543	364,07%	322,84%
G	0,18922	0,108	0,10236	75,20%	84,86%
H	0,24843	0,12885	0,12299	92,81%	101,99%
I	0,29197	0,14254	0,13674	104,83%	113,52%
J	0,055996	0,014306	0,015191	291,42%	268,61%
K	0,163	0,093124	0,088477	75,04%	84,23%
L	0,21865	0,11345	0,10842	92,73%	101,67%
M	0,037905	0,010118	0,011485	274,63%	230,04%
N	0,09783	0,065934	0,063331	48,38%	54,47%
O	0,028263	-0,03128	-0,026658	190,35%	206,02%
			Máximos	430%	372%

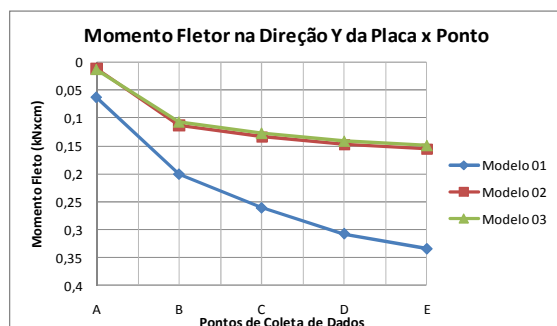


Gráfico 5.114: Momento fletor m_y na capa do pavimento 1 número de nervuras 9 e espessura de nervura 8cm trecho 6.

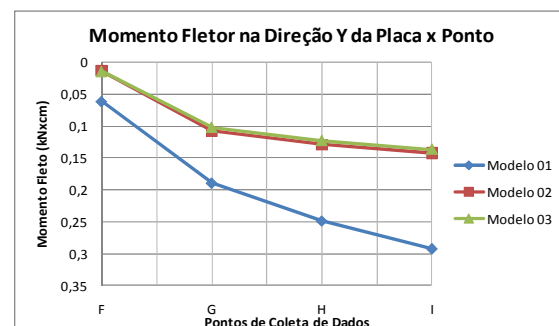


Gráfico 5.115: Momento fletor m_y na capa do pavimento 1 número de nervuras 9 e espessura de nervura 8cm trecho 7.

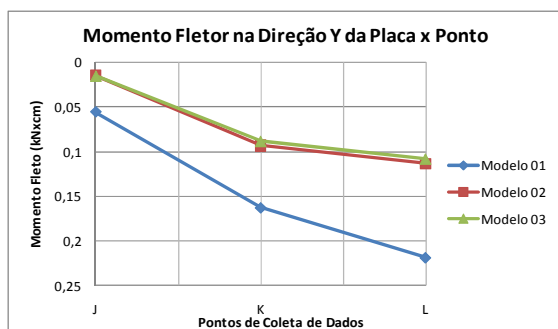


Gráfico 5.116: Momento fletor m_y na capa do pavimento 1 número de nervuras 9 e espessura de nervura 8cm trecho 8.

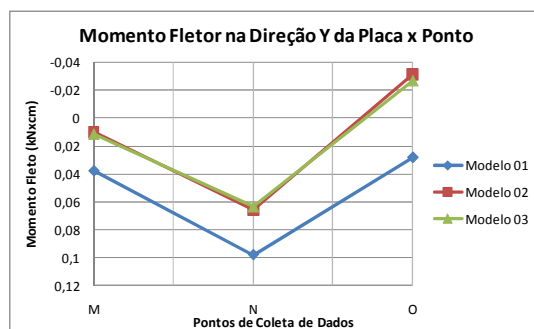


Gráfico 5.117: Momento fletor m_y na capa do pavimento 1 número de nervuras 9 e espessura de nervura 8cm trecho 9.

A maior diferença no M_y se encontra no centro do pavimento, nos dois modelos. No centro do pavimento as diferenças chegam a ser de 115% para o Modelo 02 e 123% para o Modelo 03.

Os momentos fletores na direção Y do pavimento com sete nervuras por lado são mostrados na Tabela 5.38, que também mostra o erro do modelo concêntrico em relação aos excêntricos e do Gráfico 5.118 ao Gráfico 5.120 são representados os diagramas desse esforço.

Tabela 5.38: Momento fletor m_y na capa do pavimento 1 número de nervuras 7 e espessura de nervura 8cm (kNxc/m/cm).

Pto	Momento M_y na Capa			Erro de M01 em relação a	
	M01	M02	M03	M02	M03
A	0,049897	0,016159	0,01823	208,79%	173,71%
B	0,073318	0,13451	0,12895	45,49%	43,14%
C	0,085802	0,16467	0,15921	47,89%	46,11%
D	0,090537	0,18143	0,17621	50,10%	48,62%
E	0,19235	0,018365	0,019905	947,37%	866,34%
F	0,24249	0,12555	0,12031	93,14%	101,55%
G	0,26408	0,15519	0,14982	70,17%	76,26%
H	0,33	0,018108	0,019706	1722,40%	1574,62%
I	0,35726	0,097607	0,09385	266,02%	280,67%
J	0,41353	-0,03095	-0,0265	1436,12%	1660,55%
			Máximos	1722%	1661%

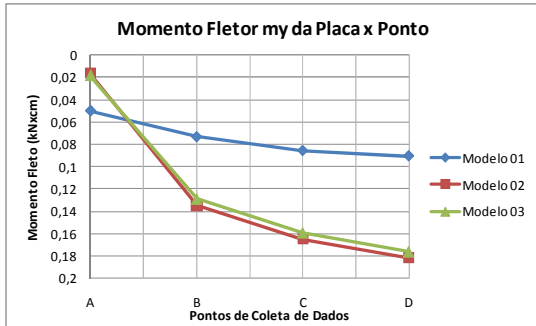


Gráfico 5.118: Momento fletor m_y na capa do pavimento 1 número de nervuras 7 e espessura de nervura 8cm trecho 5.

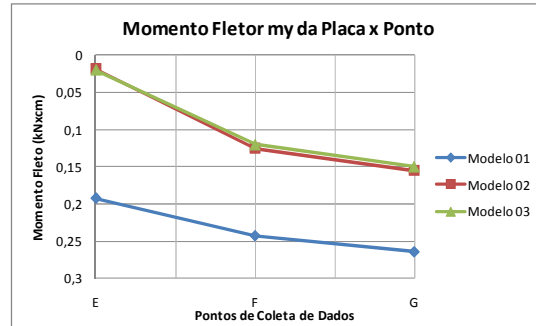


Gráfico 5.119: Momento fletor m_y na capa do pavimento 1 número de nervuras 7 e espessura de nervura 8cm trecho 6.

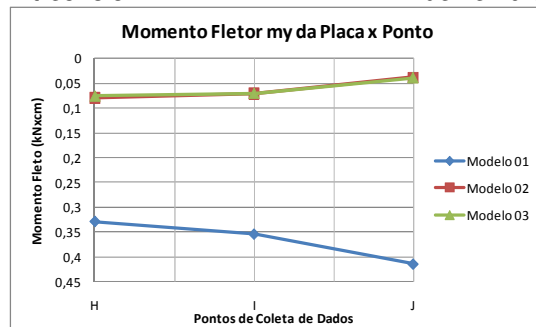


Gráfico 5.120: Momento fletor m_y na capa do pavimento 1 número de nervuras 7 e espessura de nervura 8cm trecho 7.

As maiores diferenças apresentadas nesse pavimento são de 1722% para o Modelo 02 e 1661% para o Modelo 03. Estas diferenças ocorreram na viga de contorno perto do pilar de apoio, uma região mais rígida que o resto do pavimento. No centro do pavimento as diferenças ficam em torno de 50%.

Na Tabela 5.39 são apresentados os valores dos momentos fletores na direção Y do pavimento, seguido do erro entre o modelo concêntrico e os excêntricos. O Gráfico 5.121 e o Gráfico 5.122 apresentam os diagramas desses momentos. Esses resultados foram retirados do pavimento quadrado com cinco nervuras por lado.

Tabela 5.39: Momento fletor m_y na capa do pavimento 1 número de nervuras 5 e espessura de nervura 8cm (kNxc/cm).

Pto	Momento M_y na Capa			Erro de M01 em relação a	
	M01	M02	M03	M02	M03
A	0,28583	0,16248	0,1617	75,92%	76,77%
B	0,52541	0,29206	0,2871	79,90%	83,01%
C	0,65121	0,33097	0,32655	96,76%	99,42%
D	0,26077	0,16145	0,16095	61,52%	62,02%
E	0,45765	0,26336	0,25965	73,77%	76,26%
F	0,23031	0,12868	0,13032	78,98%	76,73%
			Máximos	97%	99%

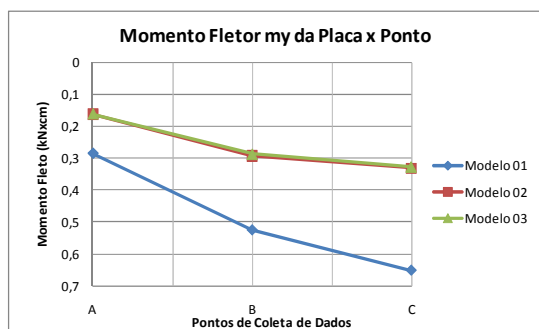


Gráfico 5.121: Momento fletor m_y na capa do pavimento 1 número de nervuras 5 e espessura de nervura 8cm trecho 4.

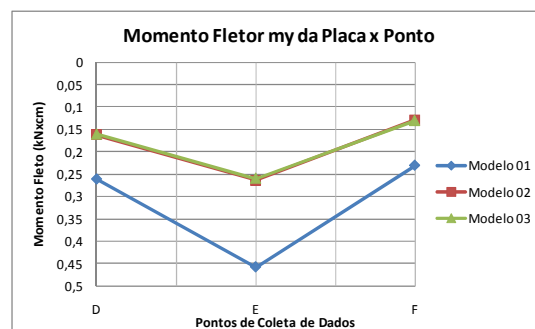


Gráfico 5.122: Momento fletor m_y na capa do pavimento 1 número de nervuras 5 e espessura de nervura 8cm trecho 5.

Neste exemplo as maiores diferenças ocorreram no meio do pavimento, onde o modelo concêntrico obteve esforços quase duas vezes maiores que os modelos excêntricos. No geral os esforços de momento foram entre 70% e 80% maiores no modelo concêntrico do que nos modelos excêntricos. Na região próxima ao pilar a diferença foi de 79% para o Modelo 02 e 77% para o Modelo 03.

Os valores dos momentos fletores na direção Y do pavimento com quatro nervuras por lado são apresentados na Tabela 5.40 junto com o erro do Modelo 01 em relação aos Modelos 02 e 03. O Gráfico 5.123 e o Gráfico 5.124 mostram os diagramas de momento do pavimento.

Tabela 5.40: Momento fletor m_y na capa do pavimento 1 número de nervuras 4 e espessura de nervura 8cm (kNxc/cm).

Pto	Momento M_y na Capa			Erro de M01 em relação a	
	M01	M02	M03	M02	M03
A	0,40173	0,2256	0,22461	78,07%	78,86%
B	0,70747	0,38201	0,37752	85,20%	87,40%
C	0,83627	0,42156	0,41765	98,38%	100,23%
D	0,37878	0,2294	0,22866	65,12%	65,65%
E	0,65274	0,36419	0,36012	79,23%	81,26%
F	0,33928	0,18563	0,18645	82,77%	81,97%
			Máximos	98%	100%

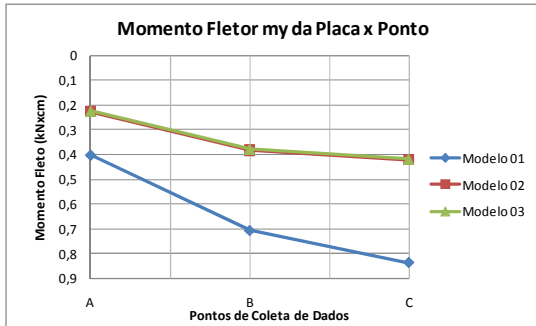


Gráfico 5.123: Momento fletor m_y na capa do pavimento 1 número de nervuras 4 e espessura de nervura 8cm trecho 4.

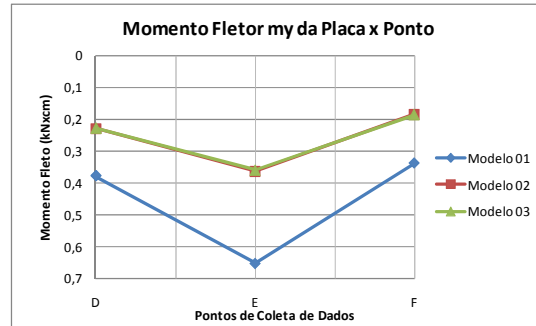


Gráfico 5.124: Momento fletor m_y na capa do pavimento 1 número de nervuras 4 e espessura de nervura 8cm trecho 5.

Neste exemplo as maiores diferenças nos esforços foram encontradas perto do centro do pavimento. Estas foram de 98% para o Modelo 02 e 100% para o Modelo 03.

A Tabela 5.41 apresenta os valores de momento fletor na capa na direção Y do pavimento com três nervuras por lado e o erro do modelo concêntrico em relação aos modelos excêntricos. Do Gráfico 5.125 ao Gráfico 5.128 são representados os diagramas de momento fletor desses trechos.

Tabela 5.41: Momento fletor m_y na capa do pavimento 1 número de nervuras 3 e espessura de nervura 8cm (kNxc/cm).

Pto	Momento M_y na Capa			Erro de M01 em relação a	
	M01	M02	M03	M02	M03
A	0,26812	0,11307	0,11003	137,13%	143,68%
B	0,50602	0,20705	0,20348	144,40%	148,68%
C	0,59056	0,17943	0,17547	229,13%	236,56%
D	0,52323	0,025524	0,021107	1949,95%	2378,94%
E	0,75694	0,22699	0,22405	233,47%	237,84%
F	0,46427	0,20685	0,20797	124,45%	123,24%
G	0,59993	0,35697	0,35394	68,06%	69,50%
H	0,62075	0,23214	0,22907	167,40%	170,99%
I	0,91975	0,47678	0,47396	92,91%	94,06%
J	0,45341	0,20616	0,20636	119,93%	119,72%
K	0,47601	0,29692	0,29286	60,32%	62,54%
L	0,41079	0,17462	0,17284	135,25%	137,67%
M	0,17112	-0,07308	-0,06741	334,17%	353,86%
N	0,1722	0,007482	0,009068	2201,43%	1798,94%
			Máximos	2201%	2379%

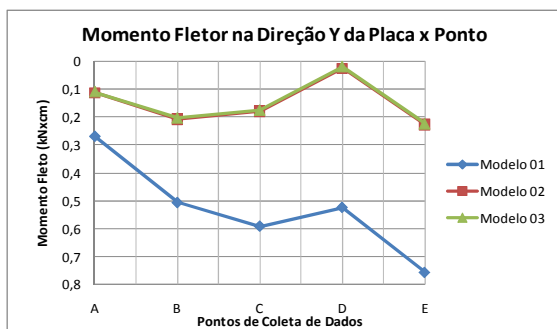


Gráfico 5.125: Momento fletor m_y na capa do pavimento 1 número de nervuras 3 e espessura de nervura 8cm trecho 4.

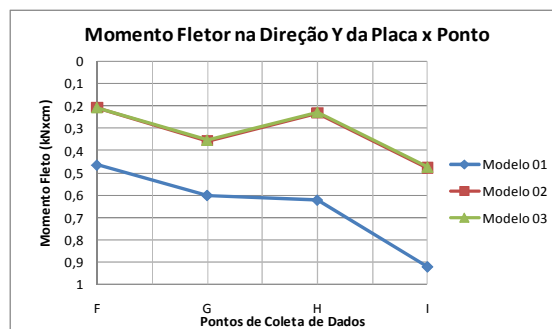


Gráfico 5.126: Momento fletor m_y na capa do pavimento 1 número de nervuras 3 e espessura de nervura 8cm trecho 5.

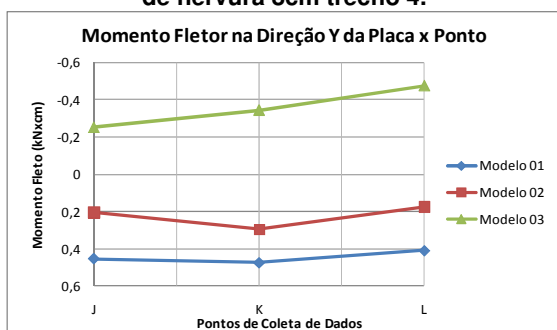


Gráfico 5.127: Momento fletor m_y na capa do pavimento 1 número de nervuras 3 e espessura de nervura 8cm trecho 6.

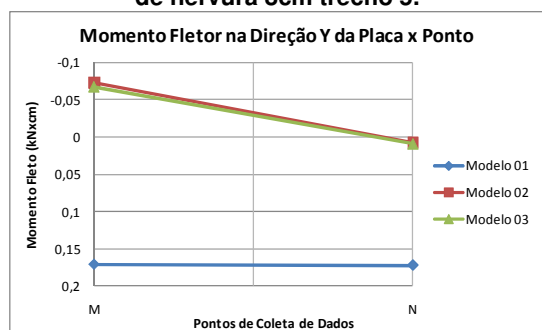


Gráfico 5.128: Momento fletor m_y na capa do pavimento 1 número de nervuras 3 e espessura de nervura 8cm trecho 7.

Conforme pode ser notado, as maiores diferenças são encontradas próximo aos pilares do pavimento. Apesar de picos de diferenças de até 2379%, os valores mais representativos no centro ficam em 238% para o Modelo 03 e 233% para o Modelo 02.

Nos cantos do pavimento houve diferenças de 353% para o Modelo 03 e 334% para o Modelo 02.

Na Tabela 5.42 são apresentados os momentos fletores na direção Y do pavimento e os erros do modelo concêntrico em relação ao modelo excêntrico. Do Gráfico 5.129 ao Gráfico 5.131 apresentam-se os diagramas de momento fletor no pavimento quadrado com duas nervuras.

Tabela 5.42: Momento fletor m_y na capa do pavimento 1 número de nervuras 2 e espessura de nervura 8cm (kNxc/cm).

Pto	Momento M_y na capa			Erro de M01 em relação a	
	M01	M02	M03	M02	M03
A	1,0143	0,59019	0,58918	71,86%	72,15%
B	1,1748	0,74431	0,74062	57,84%	58,62%
C	0,9454	0,29247	0,28857	223,25%	227,62%
D	1,6489	0,97383	0,97074	69,32%	69,86%
E	0,29039	0,060242	0,059645	382,04%	386,86%
F	0,64645	0,21471	0,21081	201,08%	206,65%
G	0,83291	0,20426	0,20261	307,77%	311,09%
H	0,89157	0,42638	0,42513	109,10%	109,72%
I	0,91839	0,56109	0,55688	63,68%	64,92%
J	0,92801	0,28348	0,28824	227,36%	221,96%
			Máximos	382%	387%

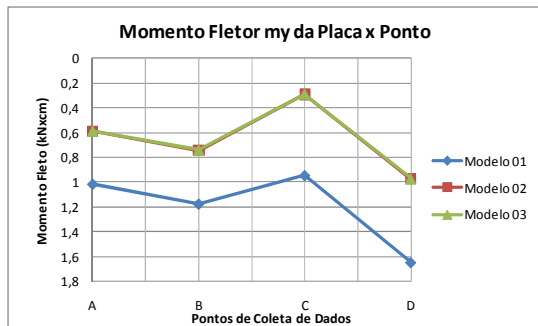


Gráfico 5.129: Momento fletor m_y na capa do pavimento 1 número de nervuras 2 e espessura de nervura 8cm trecho 5.

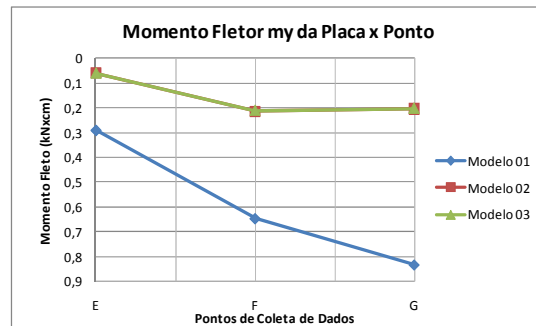


Gráfico 5.130: Momento fletor m_y na capa do pavimento 1 número de nervuras 2 e espessura de nervura 8cm trecho 6.

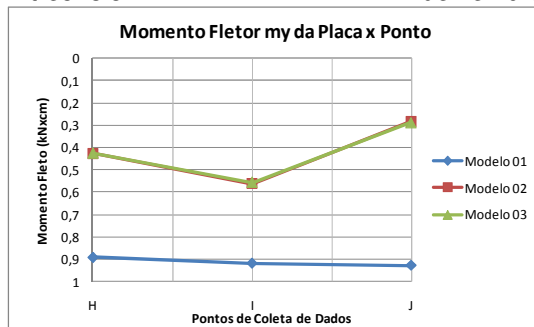


Gráfico 5.131: Momento fletor m_y na capa do pavimento 1 número de nervuras 2 e espessura de nervura 8cm trecho 7.

Neste modelo as maiores diferenças se encontram na capa acima das vigas de contorno. Essas diferenças são de 387% para o Modelo 03 e 382% para o Modelo 02.

Os momentos fletores na direção Y do pavimento com uma nervura são dados pela Tabela 5.43, que também mostra o erro do modelo concêntrico em relação aos excêntricos. Os diagramas destes esforços são apresentados do Gráfico 5.132 ao Gráfico 5.134.

Tabela 5.43: Momento fletor m_y na capa do pavimento 1 número de nervuras 1 e espessura de nervura 8cm (kNxcm/cm).

Pto	Momento My na Capa			Erro de M01 em relação a	
	M01	M02	M03	M02	M03
A	0,12829	-0,15574	-0,15229	182,37%	184,24%
B	0,60899	0,12912	0,12021	371,65%	406,61%
C	1,1151	0,26757	0,26152	316,75%	326,39%
D	1,3197	0,32999	0,32935	299,92%	300,70%
E	0,54889	-1,7285	-1,699	131,76%	132,31%
F	2,2201	1,253	1,2545	77,18%	76,97%
G	2,1592	1,4154	1,4111	52,55%	53,02%
H	0,57665	-1,9423	-1,9175	129,69%	130,07%
I	2,3055	1,1006	1,1092	109,48%	107,85%
J	0,087092	-0,38183	-0,37694	122,81%	123,11%
			Máximos	372%	407%

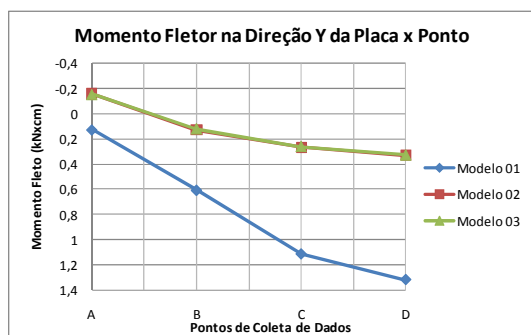


Gráfico 5.132: Momento fletor m_y na capa do pavimento 1 número de nervuras 1 e espessura de nervura 8cm trecho 4.

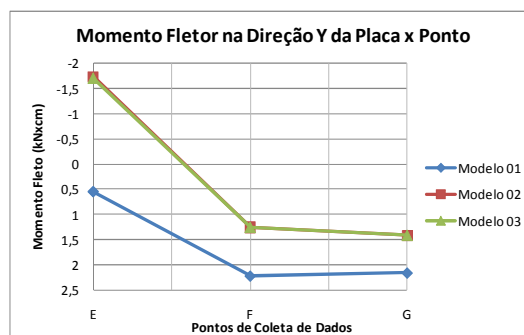


Gráfico 5.133: Momento fletor m_y na capa do pavimento 1 número de nervuras 1 e espessura de nervura 8cm trecho 5.

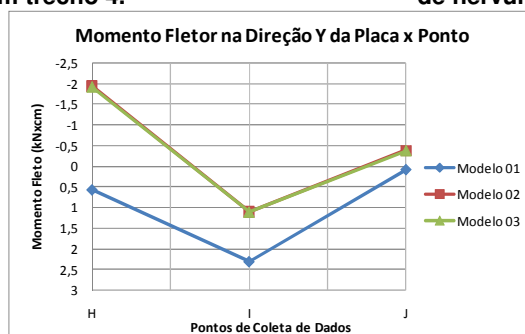


Gráfico 5.134: Momento fletor m_y na capa do pavimento 1 número de nervuras 1 e espessura de nervura 8cm trecho 6.

Neste pavimento as maiores diferenças foram de 372% para o modelo 02 e 407% para o Modelo 03. Na região próxima ao centro do pavimento a diferença ficou em torno de 300%.

A Tabela 5.44 apresenta os momentos fletores na direção Y e os erros do modelo concêntrico em relação aos excêntricos para o pavimento sem nervuras, e do Gráfico 5.135 até o Gráfico 5.137 tem-se os diagramas desses momentos.

Tabela 5.44: Momentos fletores m_y na capa do pavimento 01 número sem nervuras (kNxcm/cm).

Pto	Momento M_y na Capa			Erro de M01 em relação a	
	M01	M02	M03	M02	M03
A	1,4739	-5,2464	-4,9407	128,09%	129,83%
B	7,9163	2,578	2,7282	207,07%	190,17%
C	10,897	6,4523	6,5688	68,89%	65,89%
D	11,869	7,7578	7,8724	52,99%	50,77%
E	1,3312	-5,4944	-5,2981	124,23%	125,13%
F	7,0174	2,0572	2,1741	241,11%	222,77%
G	9,5508	5,4531	5,562	75,14%	71,72%
H	0,94435	-4,9144	-4,9282	119,22%	119,16%
I	4,6932	0,81867	0,87112	473,27%	438,75%
J	0,13319	-1,1683	-1,2068	111,40%	111,04%
			Máximos	473%	439%

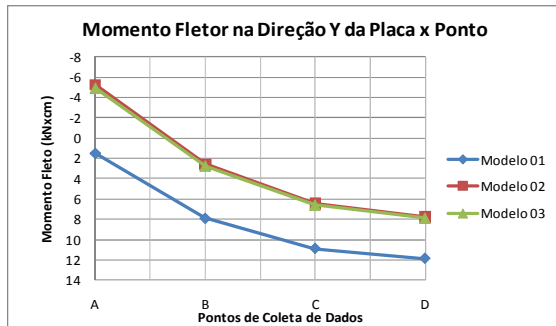


Gráfico 5.135: Momento fletor m_y na capa do pavimento 1 sem nervuras trecho 4.

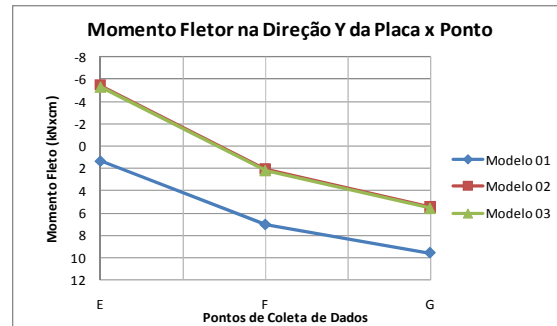


Gráfico 5.136: Momento fletor m_y na capa do pavimento 1 sem nervuras trecho 5.

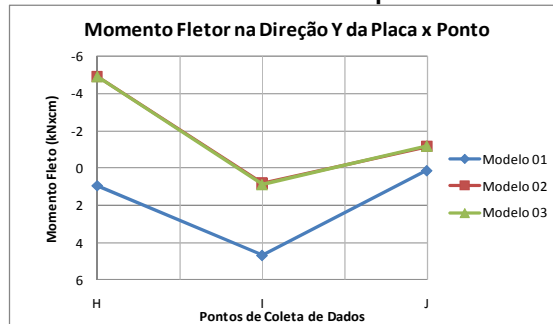


Gráfico 5.137: Momento fletor m_y na capa do pavimento 1 sem nervuras trecho 6.

Os momentos fletores na direção Y da capa também apresentam o mesmo comportamento em entre os modelos excêntricos e o concêntrico. As diferenças máximas ficaram de 473% para o Modelo 02 e 439% para o Modelo 03.

Para todos os modelos mostrados, o momento fletor nos modelos excêntricos apresentou grandes reduções quando comparados com os modelos concêntricos. Porém quando se considera a excentricidade no modelo aparecem esforços axiais mais pronunciados que no modelo concêntrico.

5.2.5.2 Esforço axial na direção X da capa

Nesta seção são apresentados os esforços axiais na direção X na capa das lajes dos pavimentos quadrados.

Na Tabela 5.45 e do Gráfico 5.138 ao Gráfico 5.141, são apresentados os esforços axiais na direção X obtidos no pavimento com nove nervuras por lado.

Tabela 5.45: Esforço axial na capa do pavimento 1 número de nervuras 9 e espessura de nervura 8cm (kN/cm).

Pto	Força Axial na direção X da capa		
	M01	M02	M03
A	-0,010422	-0,79716	-0,69879
B	-0,0019716	-0,3653	-0,32835
C	-0,0026303	-0,52771	-0,47254
D	-0,0030724	-0,6271	-0,56173
E	-0,0033065	-0,67894	-0,60827
F	-0,010667	-0,7191	-0,63213
G	-0,0021908	-0,34943	-0,31466
H	-0,0029661	-0,5115	-0,45835
I	-0,0034671	-0,61421	-0,54978
J	-0,01132	-0,54023	-0,47993
K	-0,002796	-0,31237	-0,283
L	-0,0039016	-0,47979	-0,43063
M	-0,01457	-0,26956	-0,25037
N	-0,0068786	-0,25963	-0,23983
O	-0,0162	0,088263	0,048197

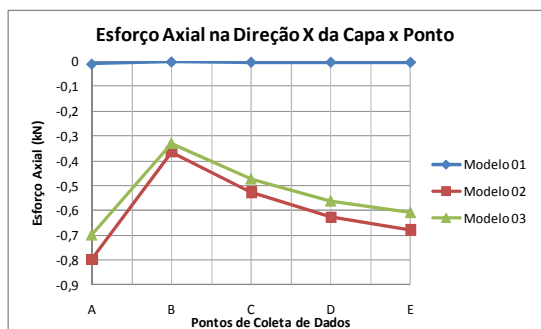


Gráfico 5.138: Esforço axial na capa do pavimento 1 número de nervuras 9 e espessura de nervura 8cm trecho 6.

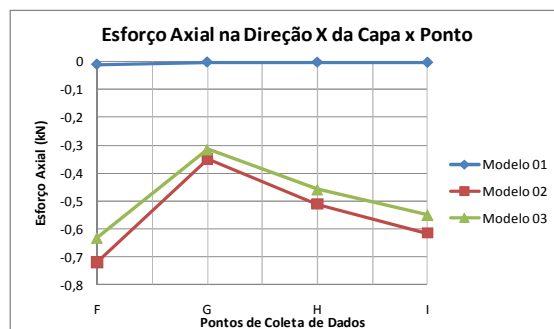


Gráfico 5.139: Esforço axial na capa do pavimento 1 número de nervuras 9 e espessura de nervura 8cm trecho 7.

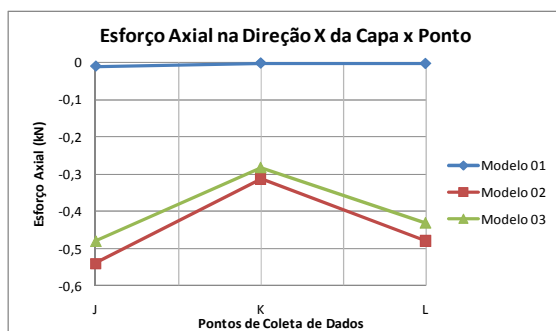


Gráfico 5.140: Esforço axial na capa do pavimento 1 número de nervuras 9 e espessura de nervura 8cm trecho 8.

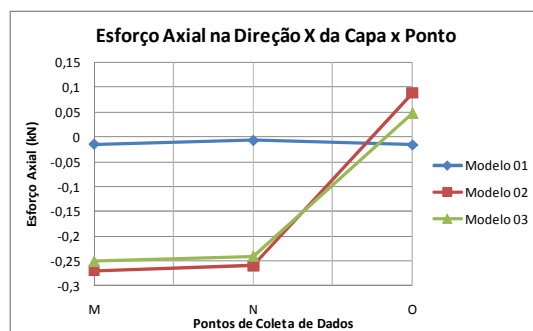


Gráfico 5.141: Esforço axial na capa do pavimento 1 número de nervuras 9 e espessura de nervura 8cm trecho 9.

Os esforços axiais na direção X da capa obtidos para o pavimento com sete nervuras por lado são apresentados na Tabela 5.46. Do Gráfico 5.142 ao Gráfico 5.144 são apresentados os diagramas de esforços normais na capa

Tabela 5.46: Esforço axial na capa do pavimento 1 número de nervuras 7 e espessura de nervura 8cm (kN/cm).

Pto	Axial direção x na Capa		
	M01	M02	M03
A	-0,01558	-0,79718	-0,70502
B	-0,01252	-0,43577	-0,39557
C	-0,01125	-0,60475	-0,54902
D	-0,01086	-0,68731	-0,62449
E	-0,00457	-0,67416	-0,59931
F	-0,00286	-0,40737	-0,37052
G	-0,0024	-0,58089	-0,52711
H	-0,00399	-0,39867	-0,36327
I	-0,00331	-0,35064	-0,32176
J	-0,0038	0,010246	-0,01644

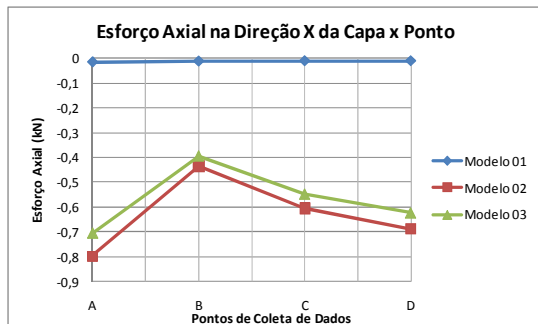


Gráfico 5.142: Esforço axial na capa do pavimento 1 número de nervuras 7 e espessura de nervura 8cm trecho 5.

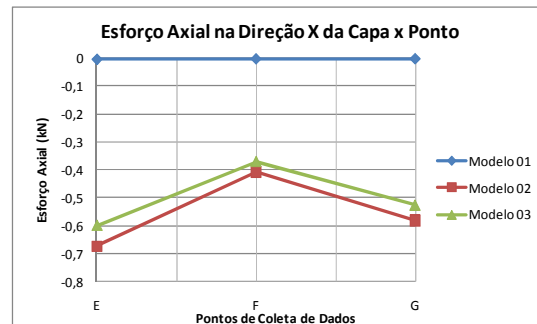


Gráfico 5.143: Esforço axial na capa do pavimento 1 número de nervuras 7 e espessura de nervura 8cm trecho 6.

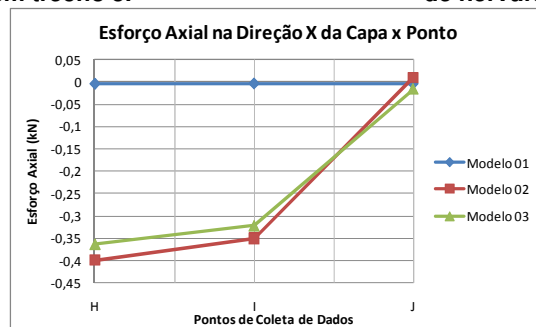


Gráfico 5.144: Esforço axial na capa do pavimento 1 número de nervuras 7 e espessura de nervura 8cm trecho 7.

Na Tabela 5.47 são apresentados os esforços axiais na direção X do pavimento, do Gráfico 5.145 até o Gráfico 5.146, são apresentados os diagramas desses esforços para o pavimento com cinco nervuras por lado.

Tabela 5.47: Esforço axial na capa do pavimento 1 número de nervuras 5 e espessura de nervura 8cm (kN/cm).

	Força Fx na Capa		
Pto	M01	M02	M03
A	-0,01108	-0,74533	-0,66894
B	-0,00347	-0,55391	-0,509
C	-0,00459	-0,69344	-0,63871
D	-0,01201	-0,5167	-0,47102
E	-0,00512	-0,50237	-0,46258
F	-0,01391	-0,07088	-0,08572

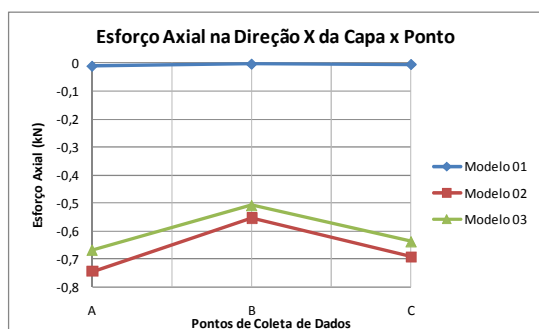


Gráfico 5.145: Esforço axial na capa do pavimento 1 número de nervuras 5 e espessura de nervura 8cm trecho 4.

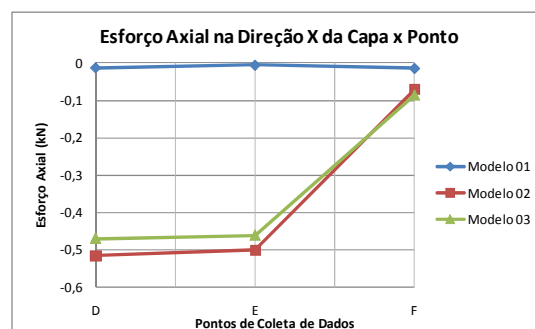


Gráfico 5.146: Esforço axial na capa do pavimento 1 número de nervuras 5 e espessura de nervura 8cm trecho 5.

A Tabela 5.48, e do Gráfico 5.147 ao Gráfico 5.148 mostram os valores dos esforços axiais na direção X do pavimento e os diagramas.

Tabela 5.48: Esforço axial na capa do pavimento 1 número de nervuras 4 e espessura de nervura 8cm (kN/cm).

	Força Axial em X na Capa		
Pto	M01	M02	M03
A	-0,01127	-0,74779	-0,67526
B	-0,00409	-0,61332	-0,56789
4	-0,00512	-0,72099	-0,66932
C	-0,01175	-0,60913	-0,55434
D	-0,00518	-0,58301	-0,53993
E	-0,01329	-0,14135	-0,14689

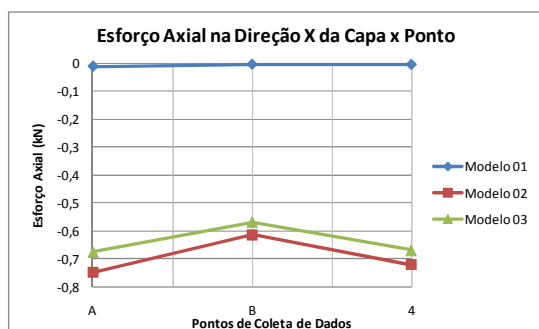


Gráfico 5.147: Esforço axial na capa do pavimento 1 número de nervuras 4 e espessura de nervura 8cm trecho 4.

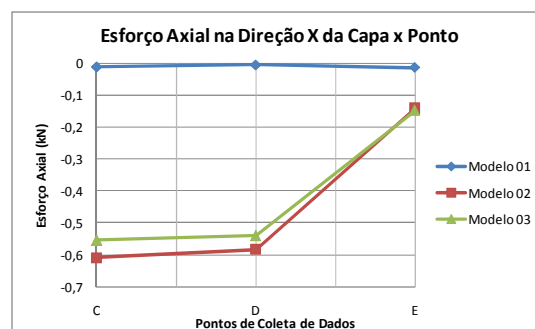


Gráfico 5.148: Esforço axial na capa do pavimento 1 número de nervuras 4 e espessura de nervura 8cm trecho 5.

Na Tabela 5.49 e no Gráfico 5.149 até o Gráfico 5.152 são mostrados os valores dos esforços axiais na direção X do pavimento e os diagramas desses esforços para o pavimento com três nervuras por lado.

Tabela 5.49: Esforço axial na capa do pavimento 1 número de nervuras 3 e espessura de nervura 8cm (kN/cm).

Esforço Axial Fx na Capa			
Pto	M01	M02	M03
A	-0,01165	-0,71822	-0,65175
B	-0,00959	-0,66694	-0,61566
C	-0,00437	-0,64331	-0,60248
D	-0,00512	-0,7522	-0,70258
E	-0,00552	-0,74069	-0,69558
F	-0,01241	-0,60716	-0,55664
G	-0,00944	-0,59639	-0,55322
H	-0,00571	-0,57	-0,53157
I	-0,00646	-0,67428	-0,62872
J	-0,0136	-0,2634	-0,25351
K	-0,00803	-0,36647	-0,34528
L	-0,00928	-0,51089	-0,47562
M	-0,01074	-0,04694	-0,05024
N	-0,00091	-0,09129	-0,0879

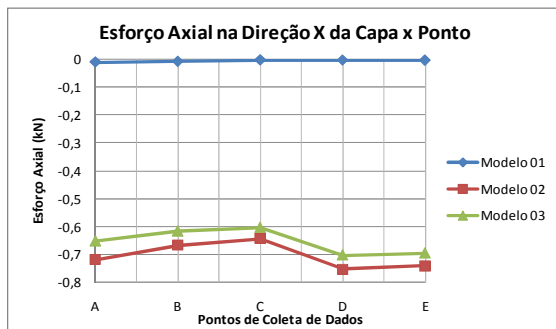


Gráfico 5.149: Esforço axial na capa do pavimento 1 número de nervuras 3 e espessura de nervura 8cm trecho 4

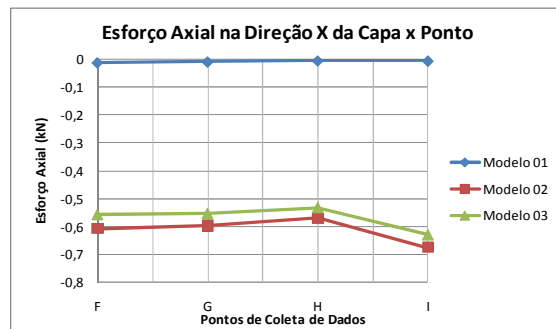


Gráfico 5.150: Esforço axial na capa do pavimento 1 número de nervuras 3 e espessura de nervura 8cm trecho 5.

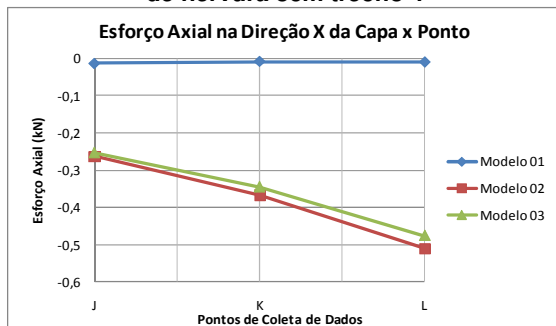


Gráfico 5.151: Esforço axial na capa do pavimento 1 número de nervuras 3 e espessura de nervura 8cm trecho 6.

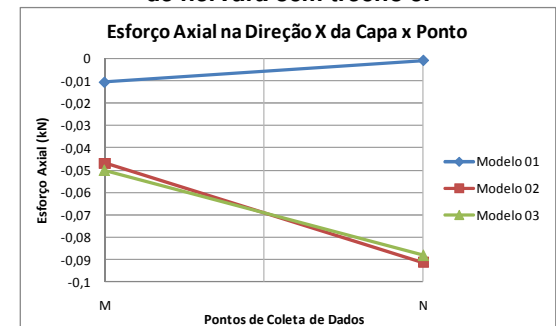


Gráfico 5.152: Esforço axial na capa do pavimento 1 número de nervuras 3 e espessura de nervura 8cm trecho 7.

Do Gráfico 5.153 ao Gráfico 5.155 são os diagramas de esforços axiais na direção X da capa do pavimento quadrado com duas nervuras por lado. A Tabela 5.50 apresenta os valores desses esforços.

Tabela 5.50: Esforço axial na capa do pavimento 1 número de nervuras 2 e espessura de nervura 8cm (kN/cm).

Pto	Esforço Axial Fx na capa		
	M01	M02	M03
A	-0,01219	-0,69749	-0,63904
B	-0,00943	-0,69814	-0,65223
C	-0,00601	-0,61171	-0,5734
D	-0,00644	-0,71481	-0,6721
E	-0,01208	-0,58007	-0,53514
F	-0,00918	-0,57711	-0,54084
G	-0,00643	-0,68859	-0,65282
H	-0,01267	-0,38491	-0,36195
I	-0,0077	-0,48339	-0,45385
J	-0,01086	-0,12429	-0,13488

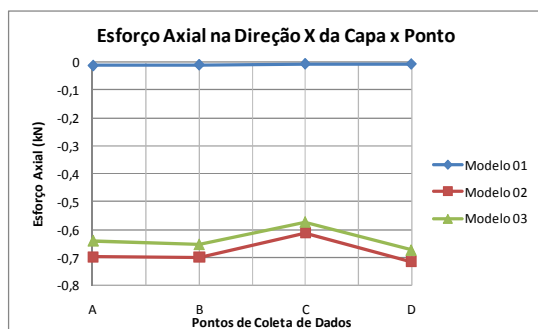


Gráfico 5.153: Esforço axial na capa do pavimento 1 número de nervuras 2 e espessura de nervura 8cm trecho 5.

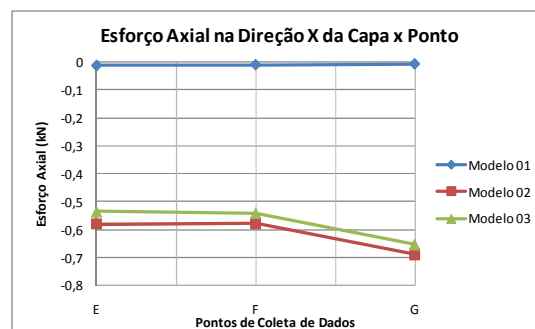


Gráfico 5.154: Esforço axial na capa do pavimento 1 número de nervuras 2 e espessura de nervura 8cm trecho 6.

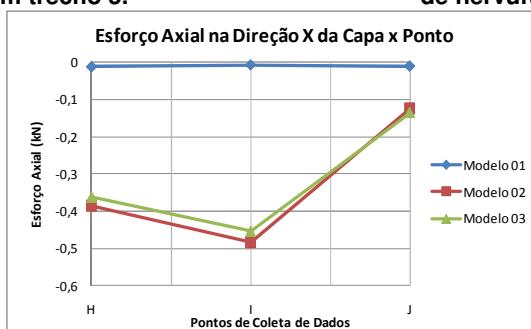


Gráfico 5.155: Esforço axial na capa do pavimento 1 número de nervuras 2 e espessura de nervura 8cm trecho 7.

Na Tabela 5.51 são apresentados os valores dos esforços axiais na direção X do pavimento com uma nervura por lado. O Gráfico 5.156 até Gráfico 5.158 mostram os diagramas desse esforço.

Tabela 5.51: Esforço axial na capa do pavimento 1 número de nervuras 1 e espessura de nervura 8cm (kN/cm).

Esforço Axial Fx na Capa			
Pto	M01	M02	M03
A	-0,01418	-1,1044	-0,9531
B	-0,01189	-0,49044	-0,45602
C	-0,00918	-0,52945	-0,50004
D	-0,00706	-0,76461	-0,73618
E	-0,01489	-0,56067	-0,5241
F	-0,01158	-0,48964	-0,45833
G	-0,00791	-0,59966	-0,56526
H	-0,0171	-0,10999	-0,1328
I	-0,00927	-0,29056	-0,28505
J	-0,02276	0,3085	0,22778

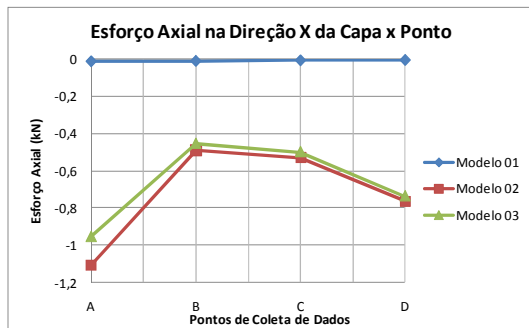


Gráfico 5.156: Esforço axial na capa do pavimento 1 número de nervuras 1 e espessura de nervura 8cm trecho 4.

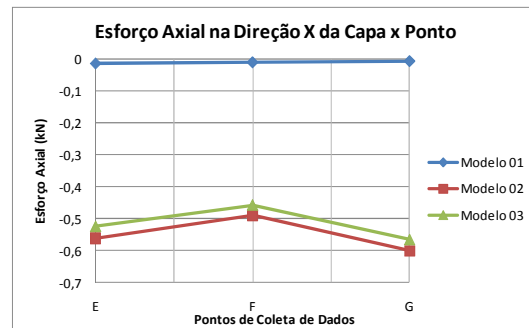


Gráfico 5.157: Esforço axial na capa do pavimento 1 número de nervuras 1 e espessura de nervura 8cm trecho 5.

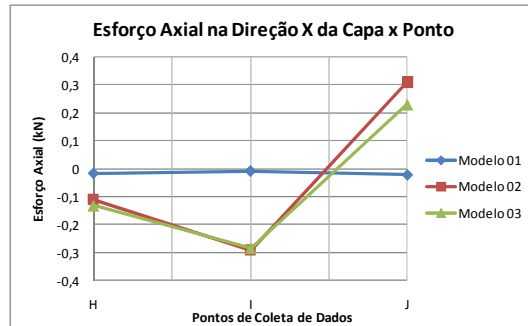


Gráfico 5.158: Esforço axial na capa do pavimento 1 número de nervuras 1 e espessura de nervura 8cm trecho 6.

Os esforços axiais na direção X do pavimento sem nervuras são apresentados na Tabela 5.52, do Gráfico 5.159 ao Gráfico 5.161 são apresentados os diagramas desses esforços.

Tabela 5.52: Forças axiais na direção X da capa do pavimento 01 número sem nervuras (kN/cm).

Pto	Força Axial Fx na Capa		
	M01	M02	M03
A	-0,01585	-0,75605	-0,6786
B	-0,01343	-0,44726	-0,41688
C	-0,01058	-0,38635	-0,36697
D	-0,00915	-0,38911	-0,37041
E	-0,01658	-0,58502	-0,53035
F	-0,01299	-0,38208	-0,36062
G	-0,00923	-0,38005	-0,36266
H	-0,01899	-0,15128	-0,15401
I	-0,0104	-0,27129	-0,26904
J	-0,02523	0,39483	0,30514

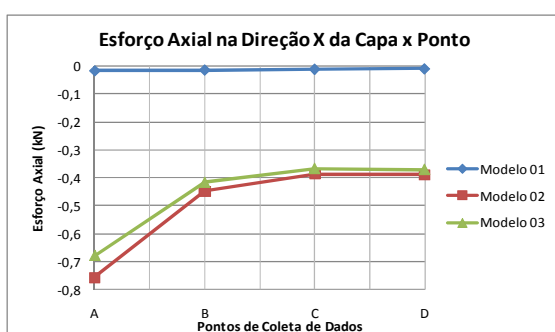


Gráfico 5.159: Esforço axial na capa do pavimento 1 sem nervuras trecho 4.

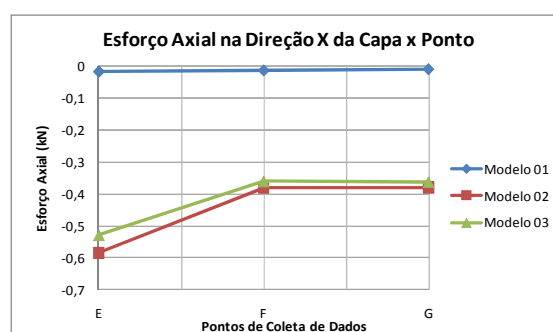


Gráfico 5.160: Esforço axial na capa do pavimento 1 sem nervuras trecho 5.

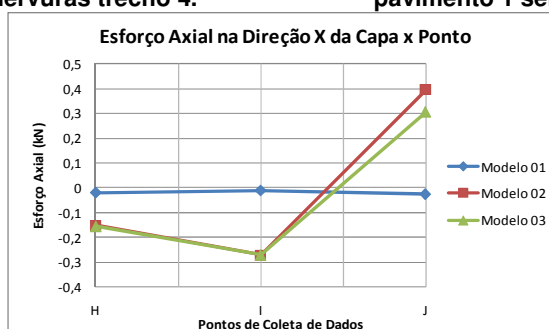


Gráfico 5.161: Esforço axial na capa do pavimento 1 sem nervuras trecho 6.

Nota-se em todos os modelos que aparecem esforços axiais consideráveis nos modelos excêntricos. E no modelo concêntrico esses esforços são praticamente nulos.

5.2.5.3 Esforço axial na direção Y da capa

Na Tabela 5.53 e do Gráfico 5.162 ao Gráfico 5.165, são apresentados os esforços axiais na direção Y obtidos no pavimento com nove nervuras por lado. A tabela apresenta também os erros do modelo concêntrico em relação aos modelos excêntricos.

Tabela 5.53: Esforço axial na capa do pavimento 1 número de nervuras 9 e espessura de nervura 8cm (kN/cm).

Pto	Força Axial na direção Y da capa		
	M01	M02	M03
A	-0,0011238	-0,10379	-0,097757
B	-0,0081444	-0,67995	-0,60078
C	-0,0057861	-0,65798	-0,5851
D	-0,0042425	-0,67041	-0,59879
E	-0,0034914	-0,6853	-0,61364
F	-0,0011513	-0,098995	-0,093393
G	-0,0081168	-0,63028	-0,55861
H	-0,0056	-0,62019	-0,55233
I	-0,0040685	-0,63686	-0,56909
J	-0,0011589	-0,086426	-0,081428
K	-0,0080136	-0,51789	-0,46345
L	-0,0051128	-0,52968	-0,47379
M	-0,0028052	-0,070032	-0,065356
N	-0,0068786	-0,34311	-0,3153
O	-0,010002	-0,029466	-0,039133

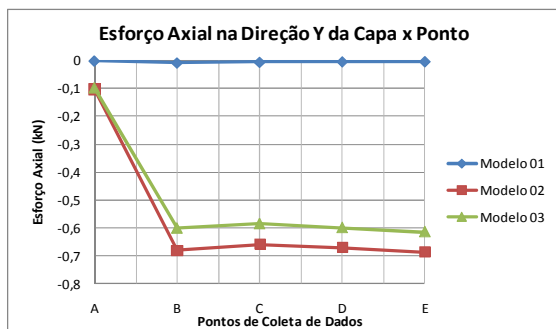


Gráfico 5.162: Esforço axial na capa do pavimento 1 número de nervuras 9 e espessura de nervura 8cm trecho 6.

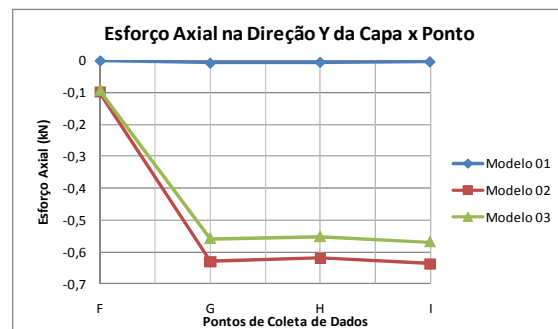


Gráfico 5.163: Esforço axial na capa do pavimento 1 número de nervuras 9 e espessura de nervura 8cm trecho 7.

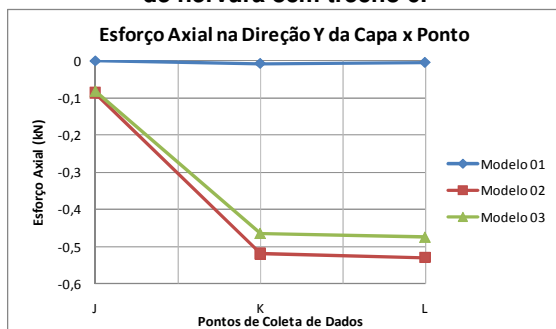


Gráfico 5.164: Esforço axial na capa do pavimento 1 número de nervuras 9 e espessura de nervura 8cm trecho 8.

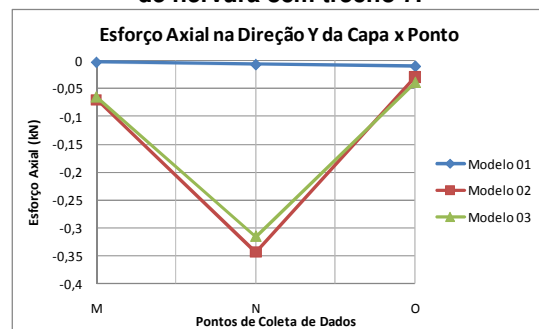


Gráfico 5.165: Esforço axial na capa do pavimento 1 número de nervuras 9 e espessura de nervura 8cm trecho 9.

Na Tabela 5.54 são apresentados os esforços axiais na direção Y do pavimento, do Gráfico 5.166 até o Gráfico 5.168, são apresentados os diagramas desses esforços para o pavimento com sete nervuras por lado.

Tabela 5.54: Esforço axial na capa do pavimento 1 número de nervuras 7 e espessura de nervura 8cm (kN/cm).

Pto	Axial direção y na Capa		
	M01	M02	M03
A	-0,00807	-0,12371	-0,11621
B	-0,00087	-0,67443	-0,60454
C	-0,00119	-0,67372	-0,60913
D	-0,00113	-0,6965	-0,63235
E	-0,00728	-0,11462	-0,1078
F	-0,00787	-0,60456	-0,54446
G	-0,00802	-0,61855	-0,55991
H	-0,0051	-0,09839	-0,09088
I	-0,00545	-0,4401	-0,40265
J	-0,00413	-0,06065	-0,06507

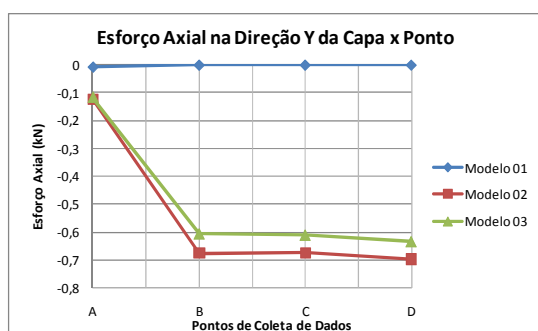


Gráfico 5.166: Esforço axial na capa do pavimento 1 número de nervuras 7 e espessura de nervura 8cm trecho 5.

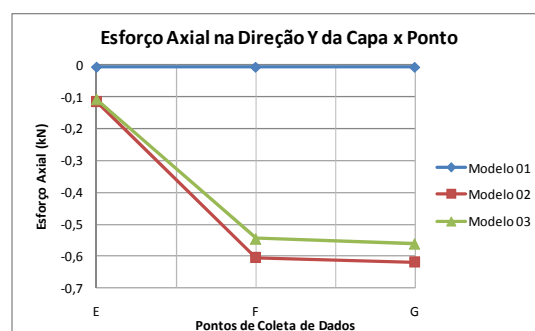


Gráfico 5.167: Esforço axial na capa do pavimento 1 número de nervuras 7 e espessura de nervura 8cm trecho 6.

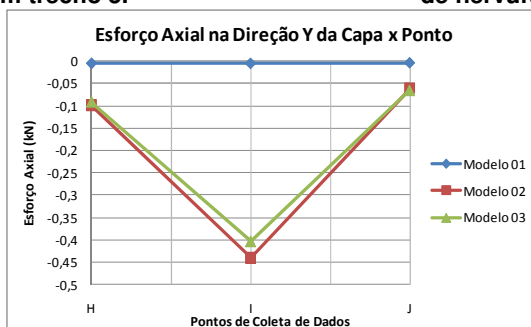


Gráfico 5.168: Esforço axial na capa do pavimento 1 número de nervuras 7 e espessura de nervura 8cm trecho 7.

Na Tabela 5.55 no Gráfico 5.169 e no Gráfico 5.170 são mostrados os valores dos esforços axiais na direção Y do pavimento com cinco nervuras por lado e os diagramas desses esforços para o pavimento com cinco nervuras por lado.

Tabela 5.55: Esforço axial na capa do pavimento 1 número de nervuras 5 e espessura de nervura 8cm (kN/cm).

	Força Fy na Capa		
Pto	M01	M02	M03
A	-0,00132	-0,21085	-0,1946
B	-0,00729	-0,66917	-0,61182
C	-0,00496	-0,70096	-0,64516
D	-0,0015	-0,18535	-0,17126
E	-0,00646	-0,54127	-0,49766
F	-0,00803	-0,10025	-0,10278

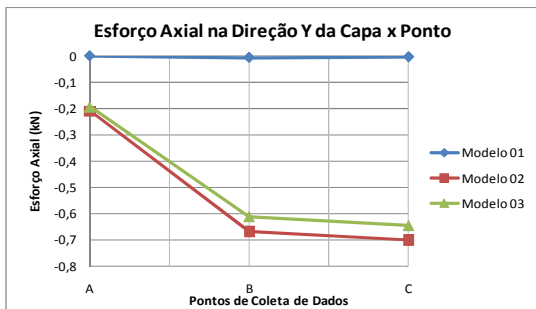


Gráfico 5.169: Esforço axial na capa do pavimento 1 número de nervuras 5 e espessura de nervura 8cm trecho 4.

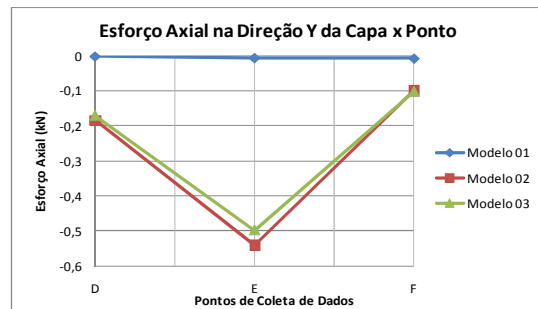


Gráfico 5.170: Esforço axial na capa do pavimento 1 número de nervuras 5 e espessura de nervura 8cm trecho 5.

Na Tabela 5.56 são apresentados os valores dos esforços axiais na direção Y do pavimento com quatro nervuras por lado. O Gráfico 5.171 e o Gráfico 5.172 mostram os diagramas desses esforços.

Tabela 5.56: Esforço axial na capa do pavimento 1 número de nervuras 4 e espessura de nervura 8cm (kN/cm).

	Força Axial em Y na Capa		
Pto	M01	M02	M03
A	-0,00144	-0,24633	-0,22818
B	-0,00702	-0,68763	-0,63499
4	-0,00512	-0,72099	-0,66932
C	-0,00162	-0,2313	-0,2143
D	-0,00642	-0,6127	-0,56674
E	-0,00692	-0,14814	-0,1451

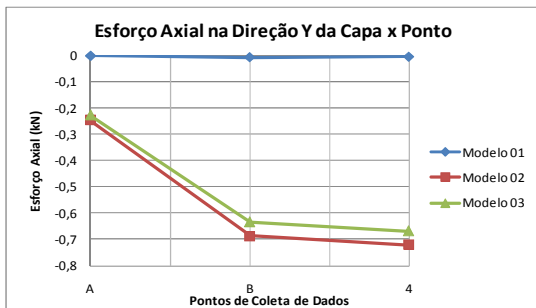


Gráfico 5.171: Esforço axial na capa do pavimento 1 número de nervuras 4 e espessura de nervura 8cm trecho 4.

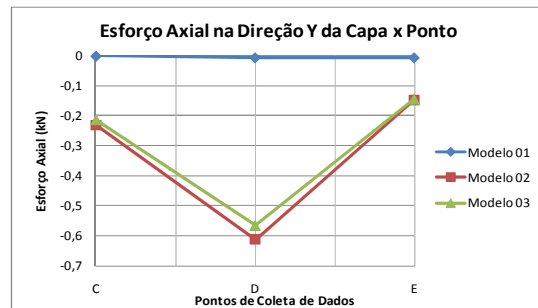


Gráfico 5.172: Esforço axial na capa do pavimento 1 número de nervuras 4 e espessura de nervura 8cm trecho 5.

Os esforços axiais na direção Y do pavimento com três nervuras são apresentados na Tabela 5.57, do Gráfico 5.173 ao Gráfico 5.174 são apresentados os diagramas desses esforços.

Tabela 5.57: Esforço axial na capa do pavimento 1 número de nervuras 3 e espessura de nervura 8cm (kN/cm).

Pto	Esforço Axial Fy na Capa		
	M01	M02	M03
A	-0,00184	-0,31582	-0,28906
B	-0,00316	-0,5256	-0,48768
C	-0,00744	-0,69362	-0,64723
D	-0,00641	-0,6794	-0,63373
E	-0,00552	-0,74069	-0,69558
F	-0,00174	-0,23223	-0,21742
G	-0,00394	-0,44302	-0,41239
H	-0,00673	-0,65942	-0,61457
I	-0,00559	-0,63671	-0,59359
J	-0,00393	-0,1991	-0,19001
K	-0,00803	-0,36647	-0,34528
L	-0,00459	-0,46769	-0,43592
M	-0,0184	0,14687	0,089733
N	-0,01534	-0,252	-0,24411

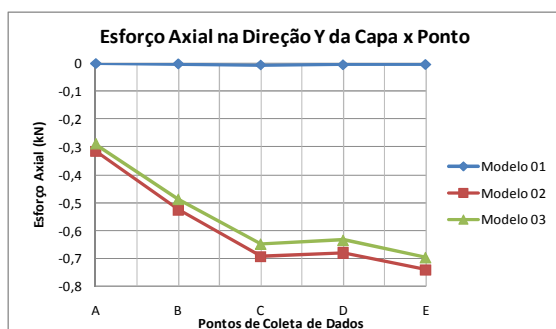


Gráfico 5.173: Esforço axial na capa do pavimento 1 número de nervuras 3 e espessura de nervura 8cm trecho 4.

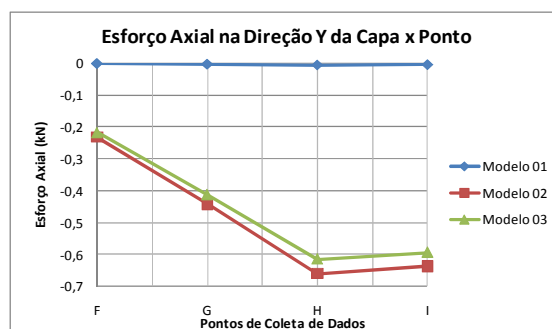


Gráfico 5.174: Esforço axial na capa do pavimento 1 número de nervuras 3 e espessura de nervura 8cm trecho 5.

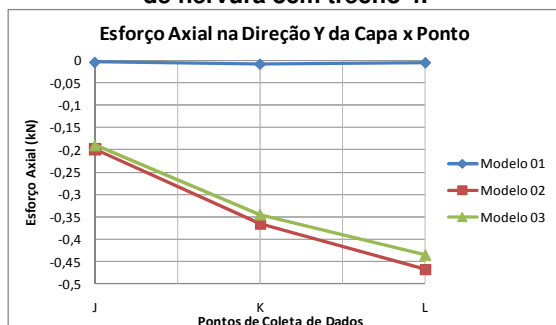


Gráfico 5.175: Esforço axial na capa do pavimento 1 número de nervuras 3 e espessura de nervura 8cm trecho 6.

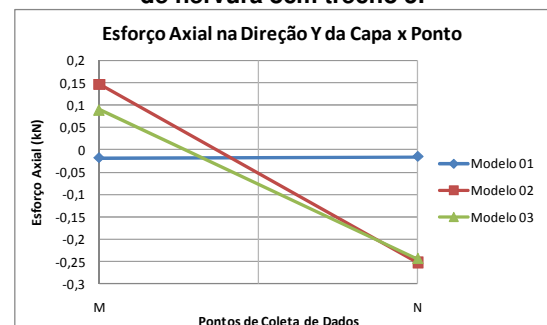


Gráfico 5.176: Esforço axial na capa do pavimento 1 número de nervuras 3 e espessura de nervura 8cm trecho 7.

Do Gráfico 5.177 ao Gráfico 5.179 são os diagramas de esforços axiais na direção Y da capa do pavimento quadrado com duas nervuras por lado. A Tabela 5.58 apresenta os valores desses esforços.

Tabela 5.58: Esforço axial na capa do pavimento 1 número de nervuras 2 e espessura de nervura 8cm (kN/cm).

Esforço Axial Fy na capa			
Pto	M01	M02	M03
A	-0,0018	-0,30901	-0,29291
B	-0,00421	-0,534	-0,49914
C	-0,00689	-0,83184	-0,78145
D	-0,00644	-0,71481	-0,6721
E	-0,00279	-0,43634	-0,40043
F	-0,00483	-0,63941	-0,5975
G	-0,00643	-0,68859	-0,65282
H	-0,00384	-0,29779	-0,28103
I	-0,0077	-0,48339	-0,45385
J	-0,01086	-0,12429	-0,13488

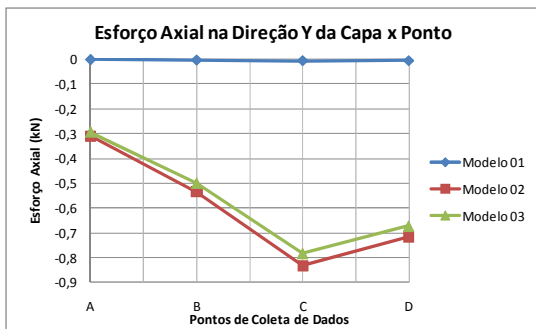


Gráfico 5.177: Esforço axial na capa do pavimento 1 número de nervuras 2 e espessura de nervura 8cm trecho 5.

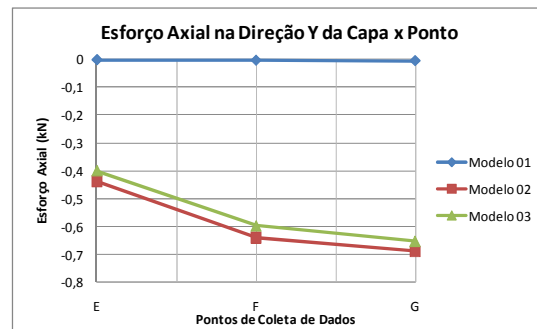


Gráfico 5.178: Esforço axial na capa do pavimento 1 número de nervuras 2 e espessura de nervura 8cm trecho 6.

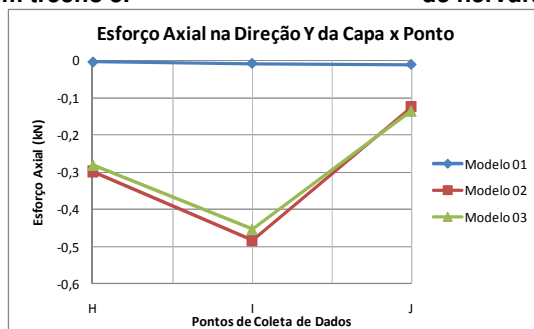


Gráfico 5.179: Esforço axial na capa do pavimento 1 número de nervuras 2 e espessura de nervura 8cm trecho 7.

Na Tabela 5.59 e no Gráfico 5.180 até o Gráfico 5.182 são mostrados os valores dos esforços axiais na direção Y do pavimento e os diagramas desses esforços para o pavimento com uma nervura por lado.

Tabela 5.59: Esforço axial na capa do pavimento 1 número de nervuras 1 e espessura de nervura 8cm (kN/cm).

Esforço Axial Fy na Capa			
Pto	M01	M02	M03
A	-0,00146	-0,22237	-0,19612
B	-0,00383	-0,80074	-0,73852
C	-0,00596	-0,93354	-0,87939
D	-0,00706	-0,76461	-0,73618
E	-0,00052	-0,14941	-0,15292
F	-0,00478	-0,46278	-0,43816
G	-0,00791	-0,59966	-0,56526
H	-0,00105	-0,12706	-0,13378
I	-0,00927	-0,29056	-0,28505
J	-0,02276	0,3085	0,22778

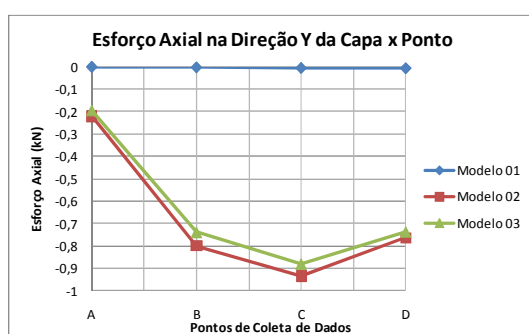


Gráfico 5.180: Esforço axial na capa do pavimento 1 número de nervuras 1 e espessura de nervura 8cm trecho 4.

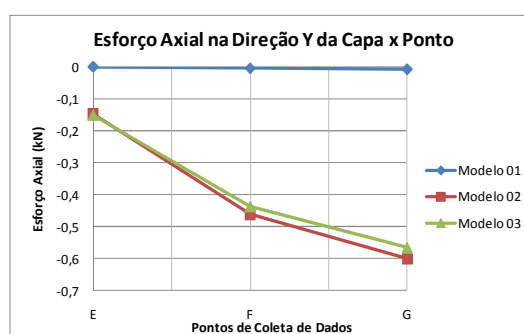


Gráfico 5.181: Esforço axial na capa do pavimento 1 número de nervuras 1 e espessura de nervura 8cm trecho 5.

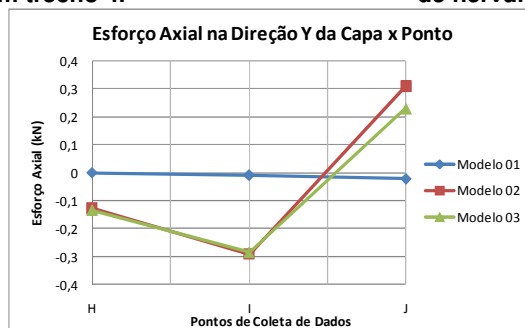


Gráfico 5.182: Esforço axial na capa do pavimento 1 número de nervuras 1 e espessura de nervura 8cm trecho 6.

Os esforços axiais na direção Y da capa obtidos para o pavimento sem nervuras e são apresentados na Tabela 5.60. Do Gráfico 5.183 ao Gráfico 5.185 são apresentados os diagramas de esforços normais na capa.

Tabela 5.60: Forças axiais na direção Y da capa do pavimento 01 sem nervuras (kN/cm).

Pto	Força Axial Fy na Capa		
	M01	M02	M03
A	-0,00057	-0,26696	-0,26978
B	-0,00439	-0,38726	-0,37202
C	-0,00768	-0,39667	-0,37796
D	-0,00915	-0,38911	-0,37041
E	-0,00066	-0,27263	-0,28111
F	-0,00555	-0,36303	-0,35206
G	-0,00923	-0,38005	-0,36266
H	-0,00118	-0,23324	-0,25011
I	-0,0104	-0,27129	-0,26904
J	-0,02523	0,39483	0,30514

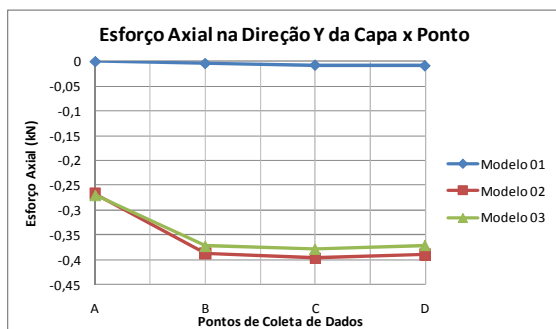


Gráfico 5.183: Esforço axial na capa do pavimento 1 sem nervuras trecho 4.

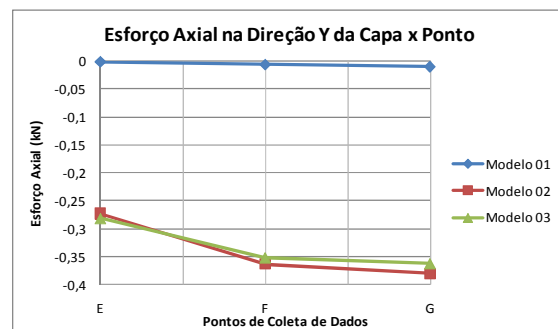


Gráfico 5.184: Esforço axial na capa do pavimento 1 sem nervuras trecho 5.

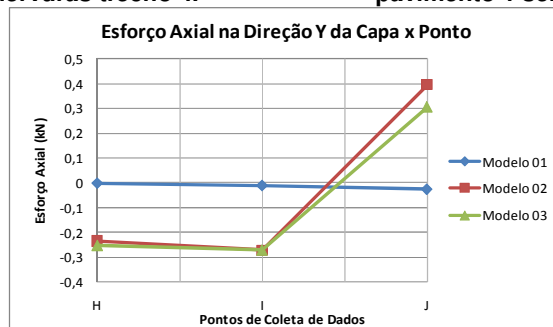


Gráfico 5.185: Esforço axial na capa do pavimento 1 sem nervuras trecho 6.

Na direção Y da capa os esforços axiais também são mais pronunciados quando se considera a excentricidade entre a casca e a viga.

5.2.5.4 Tensões nas nervuras e vigas

As tensões mostradas a seguir foram retiradas no fundo da viga quando o momento fletor do modelo concêntrico fosse positivo (em preto), e do topo da viga quando fosse negativo (em vermelho). Esta medida foi tomada para que as tensões retiradas representassem a tensão do mesmo ponto da seção analisada em todos os modelos.

As tensões foram obtidas de acordo com a resistência dos materiais, somando a parcela de tensões proveniente do momento fletor e dos esforços axiais. Nesses cálculos foram consideradas as nervuras e vigas com seções integras, sem fissuração.

As tensões nas nervuras do pavimento com nove nervuras por lado são apresentadas na Tabela 5.61, onde também são apresentados os erros do Modelo 01 (concêntrico) em relação aos Modelos 02 e 03. Do Gráfico 5.186 ao Gráfico 5.190 são apresentados os diagramas de tensões. Os dados em vermelho são pontos os o momento fletor do modelo concêntrico é negativo. Esta convenção também foi adotada nas tabelas seguintes.

Tabela 5.61: Tensões do pavimento 1 número de nervuras 9 e espessura de nervura 8cm (kN/cm²).

Pto	Tensões na Nervura			Erro de M01 em relação a	
	M01	M02	M03	M02	M03
1	0,00031587	0,07360266	0,051359528	99,57%	99,38%
2	0,19715302	0,104329189	0,11363437	88,97%	73,50%
3	0,34629376	0,208752054	0,213562489	65,89%	62,15%
4	0,44838056	0,27997757	0,281287485	60,15%	59,40%
5	0,50621302	0,323680125	0,321757795	56,39%	57,33%
6	0,52466749	0,342007168	0,337185919	53,41%	55,60%
7	0,00028947	0,071127149	0,04957656	99,59%	99,42%
8	0,19412939	0,102140005	0,111429682	90,06%	74,22%
9	0,33904279	0,203901034	0,208779677	66,28%	62,39%
10	0,43610078	0,274238284	0,275374985	59,02%	58,37%
11	0,49021706	0,317707676	0,315467171	54,30%	55,39%
12	0,50740521	0,335894922	0,330720295	51,06%	53,42%
13	0,00021331	0,062035873	0,043086091	99,66%	99,50%
14	0,1845517	0,09293827	0,102495308	98,57%	80,06%
15	0,31524691	0,18786889	0,192957803	67,80%	63,38%
16	0,39796772	0,256623998	0,257334361	55,08%	54,65%
17	0,44377712	0,298916858	0,295904671	48,46%	49,97%
18	0,45863859	0,31626635	0,310299983	45,02%	47,80%
19	-0,00039222	-0,11299996	-0,08867156	99,65%	99,56%
20	0,11048784	0,009408877	0,025588436	1074,29%	331,79%
21	0,18422817	0,118406132	0,123206868	55,59%	49,53%
22	0,24547389	0,174998994	0,174729677	40,27%	40,49%
23	0,2852727	0,206013283	0,203534362	38,47%	40,16%
24	0,29894491	0,218063284	0,214081236	37,09%	39,64%
25	0,17678042	0,143173235	0,12269975	23,47%	44,08%
26	0,00958092	0,025532045	0,011797583	62,47%	18,79%
27	0,12558075	0,12688684	0,12874	1,03%	2,45%
28	0,22966267	0,21245783	0,208955	8,10%	9,91%
29	0,29322683	0,267255625	0,2596525	9,72%	12,93%
30	0,31457225	0,288233453	0,2782175	9,14%	13,07%
			Máximos	1074%	332%

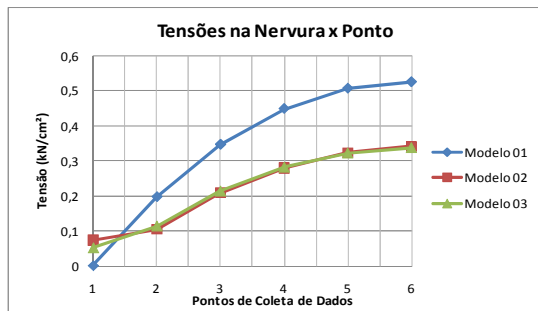


Gráfico 5.186: Tensões do pavimento 1 número de nervuras 9 e espessura de nervura 8cm trecho 1.

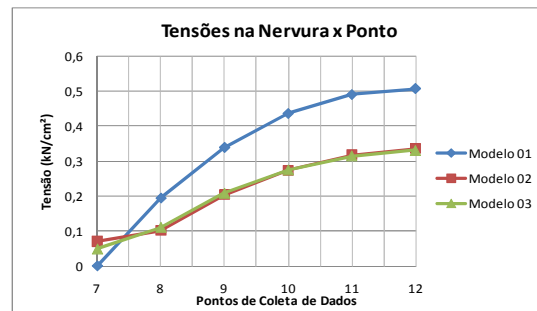


Gráfico 5.187: Tensões do pavimento 1 número de nervuras 9 e espessura de nervura 8cm trecho 2.

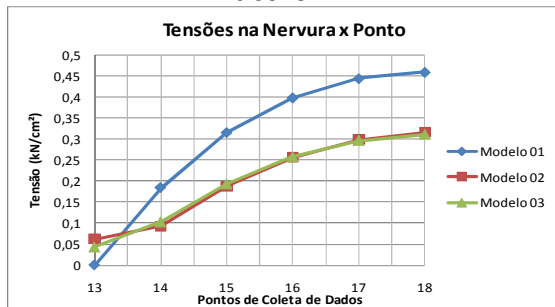


Gráfico 5.188: Tensões do pavimento 1 número de nervuras 9 e espessura de nervura 8cm trecho 3.

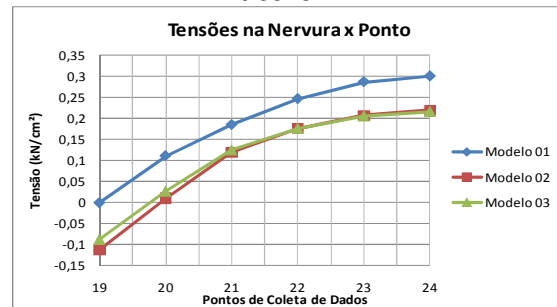


Gráfico 5.189: Tensões do pavimento 1 número de nervuras 9 e espessura de nervura 8cm trecho 4.

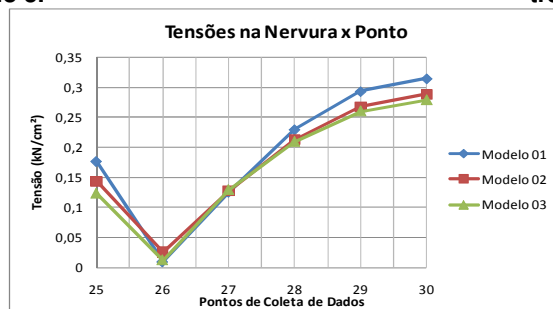


Gráfico 5.190: Tensões do pavimento 1 número de nervuras 9 e espessura de nervura 8cm trecho 5.

Nota-se que nas cascas as diferenças são no geral em torno de 50% e 60% maiores no modelo concêntrico do que nos modelos excêntricos. Nas vigas de contorno a diferença foi mínima chegando ao máximo a 9% para o Modelo 02 e 13% para o Modelo 03.

As tensões obtidas do pavimento com sete nervuras e são apresentados na Tabela 5.62, onde também são apresentados os erros do Modelo 01 (concêntrico) em relação aos Modelos 02 e 03. Do Gráfico 5.191 ao Gráfico 5.194 são apresentados os diagramas.

Tabela 5.62: Tensões do pavimento 1 número de nervuras 7 e espessura de nervura 8cm (kN/cm²).

Pto	Tensões na Nervura			Erro de M01 em relação a	
	M01	M02	M03	M02	M03
1	0,000302	0,108874	0,075889	99,72%	99,60%
2	0,304487	0,159806	0,173756	90,54%	75,24%
3	0,509722	0,301646	0,308897	68,98%	65,01%
4	0,623995	0,385738	0,387003	61,77%	61,24%
5	0,659732	0,420988	0,416706	56,71%	58,32%
6	0,000246	0,102436	0,071339	99,76%	99,65%
7	0,294484	0,152551	0,166462	93,04%	76,91%
8	0,48685	0,288853	0,295816	68,55%	64,58%
9	0,590612	0,371635	0,37232	58,92%	58,63%
10	0,622879	0,406194	0,401305	53,35%	55,21%
11	0,000114	0,078874	0,053932	99,86%	99,79%
12	0,260793	0,120869	0,135369	115,77%	92,65%
13	0,413314	0,25017	0,256466	65,21%	61,16%
14	0,494408	0,327796	0,327152	50,83%	51,12%
15	0,52072	0,358411	0,352473	45,29%	47,73%
16	0,179379	0,147498	0,126401	21,61%	41,91%
17	0,022985	0,045915	0,053148	49,94%	56,75%
18	0,186251	0,173896	0,173876	7,10%	7,12%
19	0,288169	0,26071	0,254532	10,53%	13,22%
20	0,32272	0,294492	0,284474	9,59%	13,44%
			Máximos	116%	100%

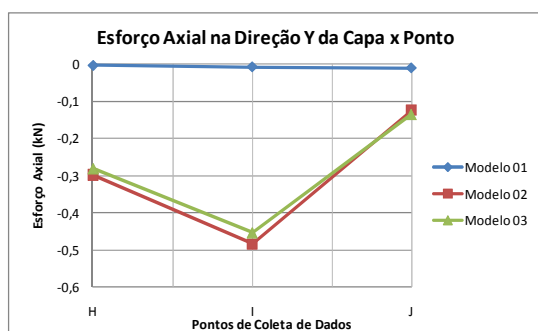


Gráfico 5.191: Tensões do pavimento 1 número de nervuras 7 e espessura de nervura 8cm trecho 1.

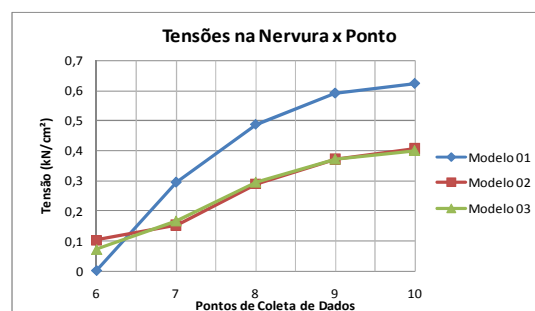


Gráfico 5.192: Tensões do pavimento 1 número de nervuras 7 e espessura de nervura 8cm trecho 2.

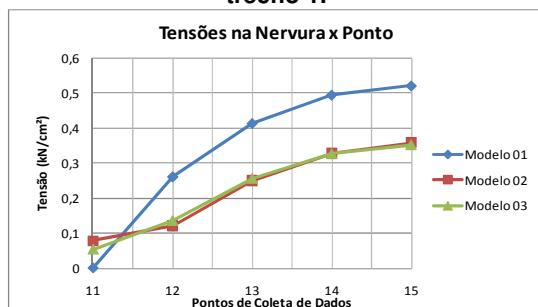


Gráfico 5.193: Tensões do pavimento 1 número de nervuras 7 e espessura de nervura 8cm trecho 3.

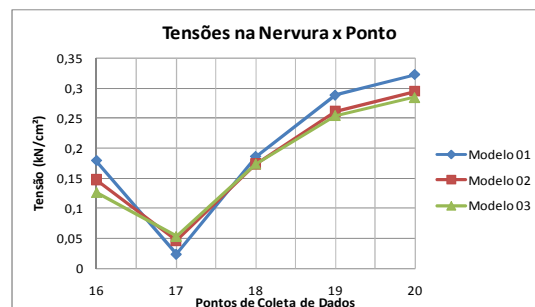


Gráfico 5.194: Tensões do pavimento 1 número de nervuras 7 e espessura de nervura 8cm trecho 4.

O comportamento deste pavimento é semelhante ao anterior. Onde as maiores diferenças de tensões se encontram nas cascas e nas vigas de contorno a diferença é muito pouco acentuada.

Na Tabela 5.63 e no Gráfico 5.195 até o Gráfico 5.197 são mostrados os valores das tensões do pavimento e os erros do modelo concêntrico em relação aos excêntricos e os diagramas para o pavimento com cinco nervuras por lado.

Tabela 5.63: Tensões do pavimento 1 número de nervuras 5 e espessura de nervura 8cm (kN/cm²).

Pto	Tensões na Nervura			Erro de M01 em relação a	
	M01	M02	M03	M02	M03
1	0,000205	0,101912	0,071575	99,80%	99,71%
2	0,521693	0,297527	0,308608	75,34%	69,05%
3	0,799358	0,480925	0,485248	66,21%	64,73%
4	0,882795	0,547596	0,546405	61,21%	61,56%
5	0,000137	0,086878	0,059915	99,84%	99,77%
6	0,480062	0,264372	0,276033	81,59%	73,91%
7	0,717638	0,441678	0,444905	62,48%	61,30%
8	0,78785	0,506766	0,502797	55,47%	56,69%
9	0,182949	0,107306	0,125682	70,49%	45,56%
10	0,0868	0,085594	0,105576	1,41%	17,78%
11	0,270685	0,199125	0,242865	35,94%	11,45%
12	0,334519	0,242953	0,295248	37,69%	13,30%
			Máximos	100%	100%

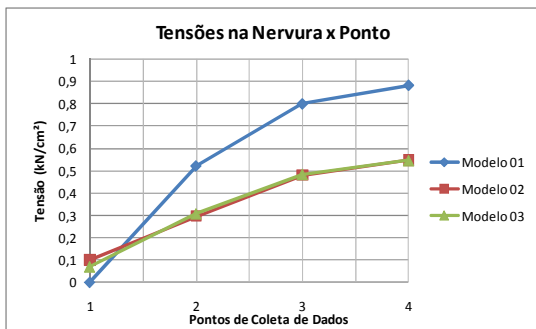


Gráfico 5.195: Tensões do pavimento 1 número de nervuras 5 e espessura de nervura 8cm trecho 1.

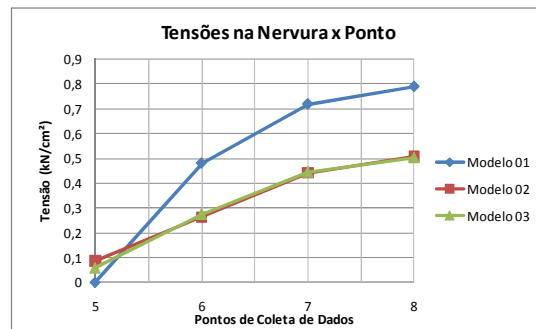


Gráfico 5.196: Tensões do pavimento 1 número de nervuras 5 e espessura de nervura 8cm trecho 2.

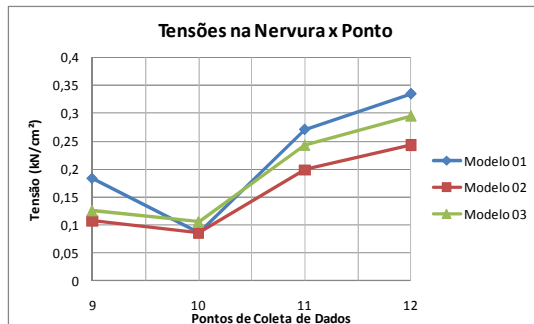


Gráfico 5.197: Tensões do pavimento 1 número de nervuras 5 e espessura de nervura 8cm trecho 3.

As maiores diferenças são encontradas no centro do pavimento e ficam em torno de 60% e as vigas de contorno não apresentam diferenças relevantes.

Na Tabela 5.64 e no Gráfico 5.198 até o Gráfico 5.200 são mostrados os valores das tensões no pavimento e os erros do modelo concêntrico em relação aos excêntricos e os diagramas de tensões para o pavimento com quatro nervuras por lado.

Tabela 5.64: Tensões do pavimento 1 número de nervuras 4 e espessura de nervura 8cm (kN/cm²).

Pto	Tensões na Nervura			Erro de M01 em relação a	
	M01	M02	M03	M02	M03
1	8,14113E-05	0,000394	0,00032	79,34%	74,56%
2	0,00018882	0,002087	0,001681	90,95%	88,77%
3	0,000277846	0,002674	0,00216	89,61%	87,14%
4	0,00040799	0,002833	0,002287	85,60%	82,16%
5	0,000196544	-0,05357	-0,0248	100,37%	100,79%
6	0,693216477	0,387066	0,402397	79,10%	72,27%
7	0,978869673	0,595994	0,599372	64,24%	63,32%
8	1,02910017	0,647612	0,642883	58,91%	60,08%
9	0,185305833	0,148397	0,128042	24,87%	44,72%
10	0,13647775	0,142509	0,142792	4,23%	4,42%
11	0,319559	0,290647	0,281946	9,95%	13,34%
12	0,324328667	0,287917	0,281134	12,65%	15,36%
			Máximos	100%	101%

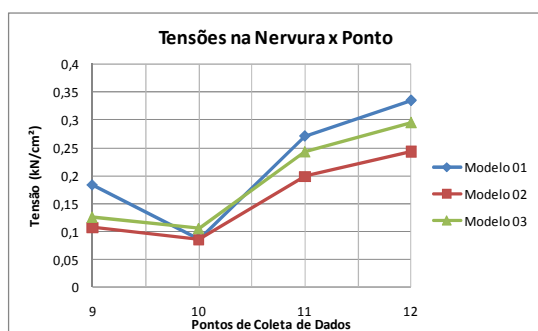


Gráfico 5.198: Tensões do pavimento 1 número de nervuras 4 e espessura de nervura 8cm trecho 1.

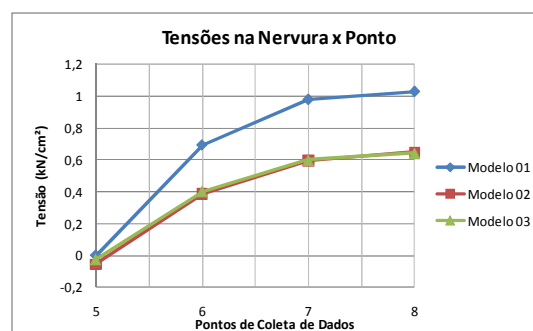


Gráfico 5.199: Tensões do pavimento 1 número de nervuras 4 e espessura de nervura 8cm trecho 2.

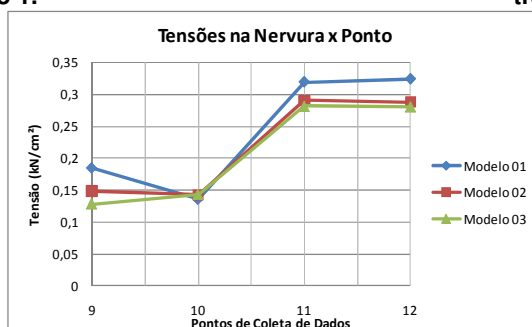


Gráfico 5.200: Tensões do pavimento 1 número de nervuras 4 e espessura de nervura 8cm trecho 3.

Onde ocorreram as maiores diferenças foi onde houve inversão de sinal dos momentos fletores. As maiores diferenças foram encontradas próximas ao centro do pavimento e foram de 91% para o Modelo 02 e 89% para o Modelo 03.

Do Gráfico 5.201 ao Gráfico 5.203 são os diagramas de tensões do pavimento quadrado com três nervuras por lado. A Tabela 5.65 apresenta os valores dessas tensões e o erro do modelo concêntrico em relação aos modelos excêntricos.

Tabela 5.65: Tensões do pavimento 1 número de nervuras 3 e espessura de nervura 8cm (kN/cm²).

Pto	Tensões na Nervura			Erro de M01 em relação a	
	M01	M02	M03	M02	M03
1	0,00031183	-0,05144797	-0,01701718	100,61%	101,83%
2	0,72402177	0,398082673	0,418907795	81,88%	72,84%
3	1,03103092	0,584446462	0,601703098	76,41%	71,35%
4	1,2861099	0,781750049	0,784165588	64,52%	64,01%
5	1,3039764	0,796231683	0,796265587	63,77%	63,76%
6	0,0004947	-0,11195716	-0,07276999	100,44%	100,68%
7	0,57532299	0,291264811	0,311232799	97,53%	84,85%
8	0,77855169	0,442464821	0,457589042	75,96%	70,14%
9	0,98331411	0,628252592	0,626462469	56,52%	56,96%
10	0,98379583	0,637079123	0,632495281	54,42%	55,54%
11	0,18871058	0,150027847	0,12979575	25,78%	45,39%
12	0,05441342	0,066578226	0,07394	18,27%	26,41%
13	0,20744258	0,20291982	0,199103333	2,23%	4,19%
14	0,30550375	0,269867035	0,2656225	13,21%	15,01%
15	0,35687067	0,327445477	0,314819167	8,99%	13,36%
			Máximos	101%	102%

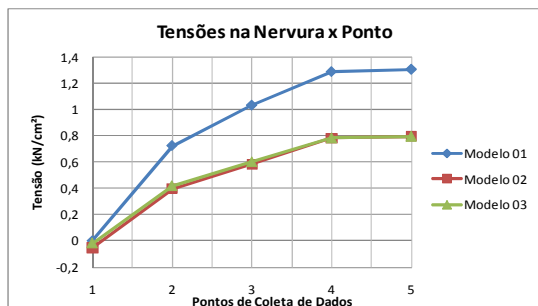


Gráfico 5.201: Tensões do pavimento 1 número de nervuras 3 e espessura de nervura 8cm trecho 1.

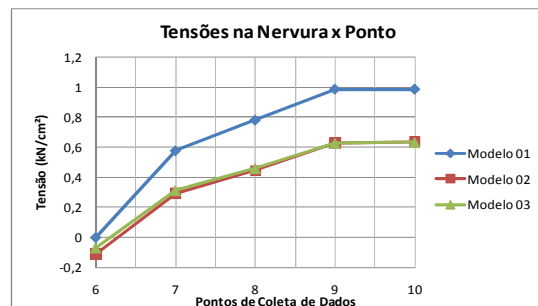


Gráfico 5.202: Tensões do pavimento 1 número de nervuras 3 e espessura de nervura 8cm trecho 2.

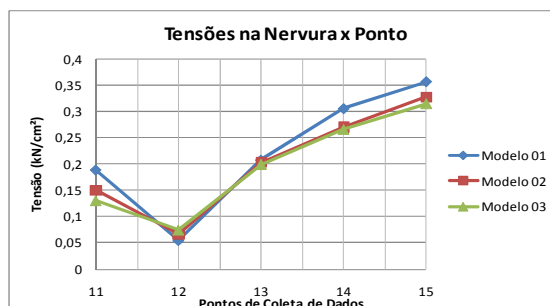


Gráfico 5.203: Tensões do pavimento 1 número de nervuras 3 e espessura de nervura 8cm trecho 3.

As maiores diferenças são encontradas na ligação entre a casca e a viga. Nestas regiões, no modelo concêntrico as tensões são muito pequenas e nos modelos excêntricos elas ficam muito maiores.

Nota-se que em pontos com comportamentos semelhantes, a maior diferença fica em torno de 82% para o Modelo 02 e 73% para o Modelo 03.

Na Tabela 5.66 são apresentados os valores das tensões do pavimento com duas nervuras por lado e o erro do modelo concêntrico (Modelo 01) em relação aos modelos excêntricos (Modelo 02 e Modelo 03). Do Gráfico 5.204 ao Gráfico 5.207 mostram-se os diagramas das tensões.

Tabela 5.66: Tensões do pavimento 1 número de nervuras 2 e espessura de nervura 8cm (kN/cm²).

Pto	Tensões na Nervura			Erro de M01 em relação a	
	M01	M02	M03	M02	M03
1	0,07224191	-0,18908582	-0,18946219	138,21%	138,13%
2	0,29223468	0,107303808	0,112772821	172,34%	159,14%
3	0,07060556	-0,22026906	-0,21326685	132,05%	133,11%
4	0,39432066	0,090682434	0,098483071	334,84%	300,39%
5	0,00052969	-0,07647757	-0,03555156	100,69%	101,49%
6	0,95090364	0,525710232	0,547432788	80,88%	73,70%
7	1,36254589	0,80708372	0,819796838	68,82%	66,21%
8	1,58039338	0,996003124	0,991203077	58,67%	59,44%
9	0,06069389	-0,05228927	-0,05627866	216,07%	207,85%
10	0,27341548	0,097785701	0,10061296	179,61%	171,75%
11	0,09470433	-0,07965168	-0,0719151	218,90%	231,69%
12	0,27677714	0,109712265	0,114180802	152,28%	142,40%
13	0,19447767	0,150773488	0,131166667	28,99%	48,27%
14	0,07630483	0,081969207	0,089229167	6,91%	14,48%
15	0,31247175	0,296879805	0,285450833	5,25%	9,47%
16	0,33220058	0,289988261	0,285044167	14,56%	16,54%
			Máximos	335%	300%

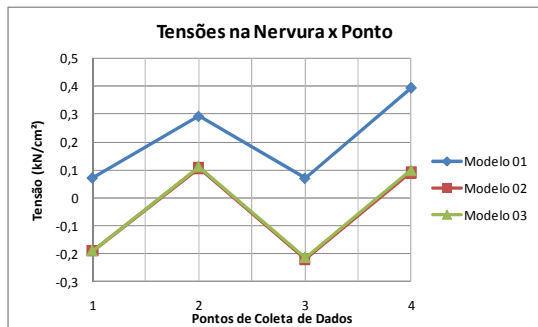


Gráfico 5.204: Tensões do pavimento 1 número de nervuras 2 e espessura de nervura 8cm trecho 1.

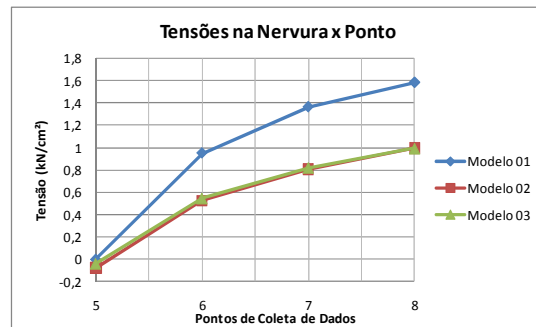


Gráfico 5.205: Tensões do pavimento 1 número de nervuras 2 e espessura de nervura 8cm trecho 2.

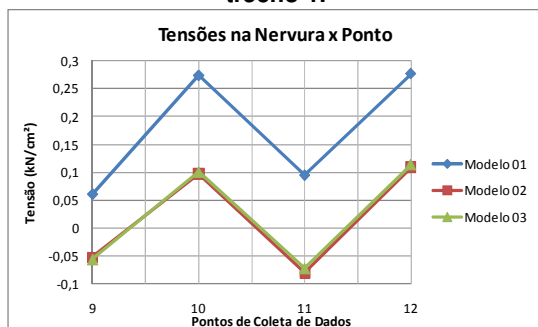


Gráfico 5.206: Tensões do pavimento 1 número de nervuras 2 e espessura de nervura 8cm trecho 3.

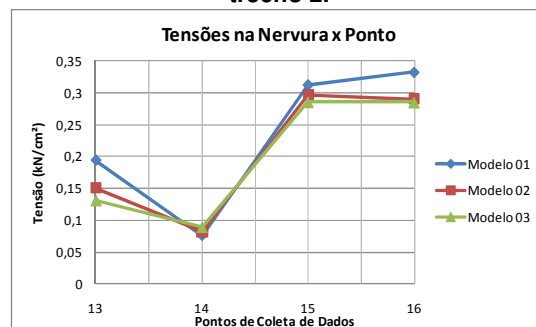


Gráfico 5.207: Tensões do pavimento 1 número de nervuras 2 e espessura de nervura 8cm trecho 4.

Neste pavimento as maiores diferenças também se encontram no meio do pavimento, porém elas chegam até 300% para o Modelo 03 e 335% para o Modelo 02.

Na Tabela 5.67 são apresentados os valores das tensões do pavimento com uma nervura por lado e o erro do modelo concêntrico (Modelo 01) em relação aos modelos excêntricos (Modelo 02 e Modelo 03). Do Gráfico 5.208 ao Gráfico 5.210 mostram os diagramas desse esforço.

Tabela 5.67: Tensões do pavimento 1 número de nervuras 1 e espessura de nervura 8cm (kN/cm²).

Pto	Tensões na Nervura			Erro de M01 em relação a	
	M01	M02	M03	M02	M03
1	0,001262	-0,06367	0,005139	101,98%	75,44%
2	1,811488	1,011411	1,050625	79,10%	72,42%
3	2,336609	1,4045	1,413625	66,37%	65,29%
4	2,376019	1,435077	1,438562	65,57%	65,17%
5	0,000192	-0,00076	-0,00096	125,07%	119,99%
6	0,00115	-0,00049	-0,00047	334,78%	342,53%
7	0,000915	-0,0015	-0,00127	161,07%	172,08%
8	0,000427	-0,0031	-0,00253	113,76%	116,86%
9	0,206404	0,160604	0,141049	28,52%	46,34%
10	0,120476	0,116135	0,123646	3,74%	2,56%
11	0,307138	0,270972	0,26926	13,35%	14,07%
12	0,404479	0,380469	0,364359	6,31%	11,01%
			Máximos	335%	343%

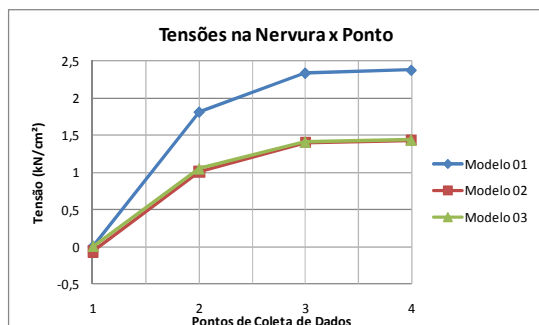


Gráfico 5.208: Tensões do pavimento 1 número de nervuras 1 e espessura de nervura 8cm trecho 1.

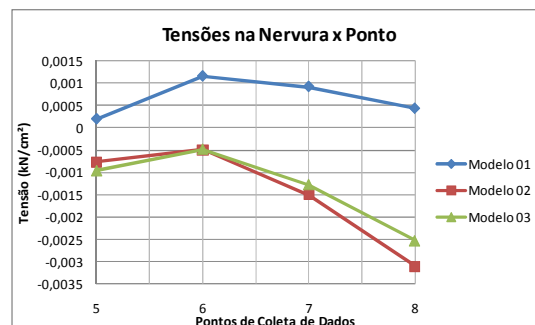


Gráfico 5.209: Tensões do pavimento 1 número de nervuras 1 e espessura de nervura 8cm trecho 2.

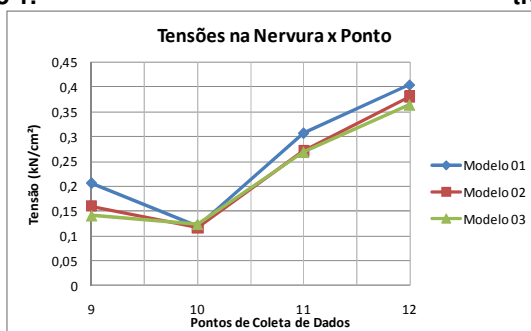


Gráfico 5.210: Tensões do pavimento 1 número de nervuras 1 e espessura de nervura 8cm trecho 2.

As nervuras próximas ao centro do pavimento tiveram grandes diferenças, ficando em torno de 65%. No trecho 2 houve as maiores diferenças, chegando a 271% para o Modelo 03 e 258% para o Modelo 02.

Na Tabela 5.68 são apresentados as tensões e os erros cometidos no modelo concêntrico em relação aos excêntricos, do Gráfico 5.211 até o Gráfico 5.213, são apresentados os diagramas das tensões para o pavimento sem nervuras.

Tabela 5.68: Tensões no pavimento 01 número sem nervuras (kN/cm²).

Pto	Tensões na Nervura			Erro de M01 em relação a	
	M01	M02	M03	M02	M03
1	0,28188298	-0,26541106	-0,2316437	194,16%	182,18%
2	1,60523187	0,811603662	0,844167186	49,44%	47,41%
3	2,48468862	1,502192572	1,53363575	39,54%	38,28%
4	2,78530842	1,736409539	1,767662733	37,66%	36,54%
5	2,84581861	1,783454392	1,814689593	37,33%	36,23%
6	0,22043292	-0,28034747	-0,27253907	227,18%	223,64%
7	1,28442043	0,358829612	0,37624063	72,06%	70,71%
8	1,9466488	0,771227451	0,800371013	60,38%	58,88%
9	2,16404237	0,908482169	0,942472357	58,02%	56,45%
10	2,20727193	0,936007102	0,971036998	57,59%	56,01%
11	0,22874833	0,203655591	0,182633333	10,97%	20,16%
12	0,070145	0,119781931	0,127234167	-70,76%	-81,39%
13	0,2946945	0,291613003	0,289433333	1,05%	1,79%
14	0,38033283	0,358458391	0,351616667	5,75%	7,55%
15	0,40930267	0,38457985	0,374725	6,04%	8,45%
			Máximos	227%	224%

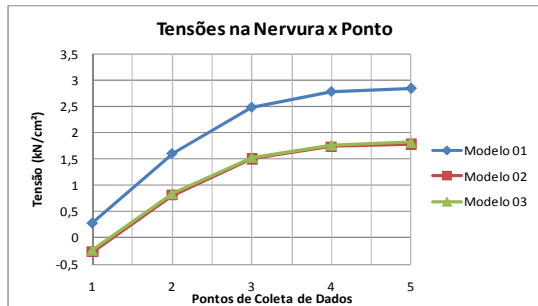


Gráfico 5.211: Tensões do pavimento 1 sem nervuras trecho 1.

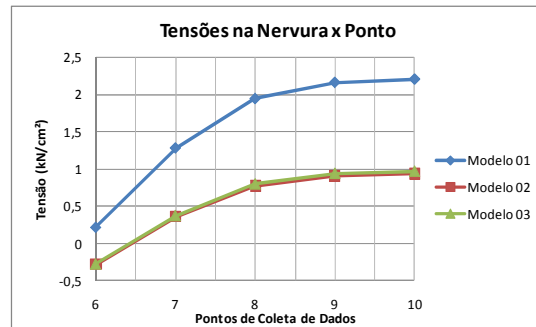


Gráfico 5.212: Tensões do pavimento 1 sem nervuras trecho 2.

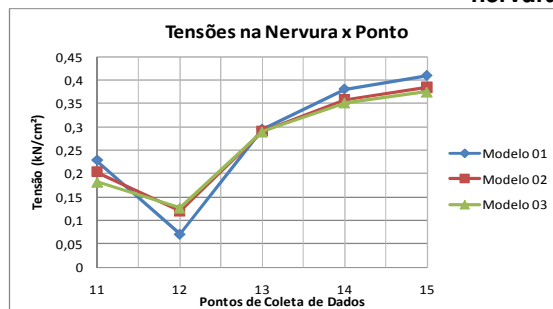


Gráfico 5.213: Tensões do pavimento 1 sem nervuras trecho 3.

Neste modelo as tensões tiveram o mesmo comportamento nos modelos excêntricos e no modelo concêntrico. As maiores diferenças ocorreram na ligação casca viga e foram de 227% para o Modelo 02 e 224% para o Modelo 03.

As diferenças nos pontos próximos ao centro do pavimento ficaram entre 37% e 49% no Modelo 02 e 36% e 47% para o Modelo 03. As vigas de contorno não apresentaram diferenças significativas.

5.2.5.5 Tensões na direção X da capa

Os cálculos das tensões foram feitos de acordo com a resistência dos materiais, somando a parcela de tensões proveniente do momento fletor e dos esforços axiais. Nos cálculos foram considerados faixas de laje com uma unidade de comprimento e altura com o valor da espessura da mesma.

Na Tabela 5.69 são apresentados os valores das tensões na capa na direção X do pavimento com nove nervuras por lado e o erro do modelo concêntrico (Modelo 01) em relação aos modelos excêntricos (Modelo 02 e Modelo 03). Do Gráfico 5.214 ao Gráfico 5.217 mostram os diagramas desse esforço.

Tabela 5.69: Tensões na capa do pavimento 1 número de nervuras 9 e espessura de nervura 8cm (kN/cm²/cm).

Pto	Tensões na direção X da Capa			Erro de M01 em relação a	
	M01	M02	M03	M02	M03
A	0,02986378	-0,13817552	-0,11976544	121,61%	124,94%
B	0,03877315	-0,05688893	-0,04994879	168,16%	177,63%
C	0,05879256	-0,07932799	-0,0692009	174,11%	184,96%
D	0,07220702	-0,09268488	-0,08076491	177,91%	189,40%
E	0,07941068	-0,09929328	-0,08646446	179,98%	191,84%
F	0,02709885	-0,12252082	-0,10630484	122,12%	125,49%
G	0,03739053	-0,05431618	-0,04777629	168,84%	178,26%
H	0,05650611	-0,07694491	-0,06718104	173,44%	184,11%
I	0,0689347	-0,09102098	-0,07928901	175,73%	186,94%
J	0,02072352	-0,08888477	-0,07775975	123,32%	126,65%
K	0,03399454	-0,04881565	-0,04319501	169,64%	178,70%
L	0,05076958	-0,0728865	-0,0638129	169,66%	179,56%
M	0,00461887	-0,03862001	-0,03535711	111,96%	113,06%
N	0,02209597	-0,04173886	-0,0377076	152,94%	158,60%
O	-0,00185068	0,023728176	0,016127164	107,80%	111,48%
			Máximos	180%	192%

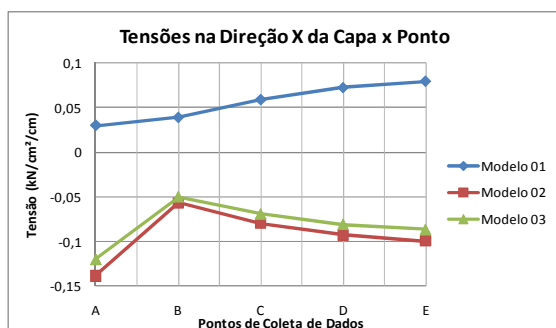


Gráfico 5.214: Tensões na capa do pavimento 1 número de nervuras 9 e espessura de nervura 8cm trecho 6.

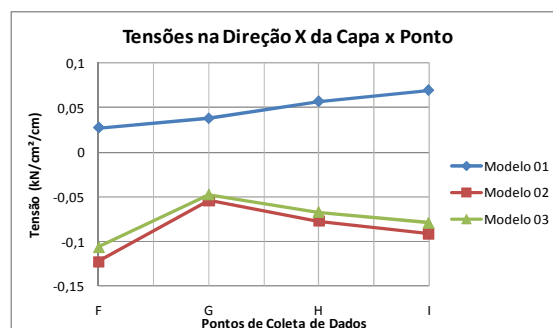


Gráfico 5.215: Tensões na capa do pavimento 1 número de nervuras 9 e espessura de nervura 8cm trecho 7.

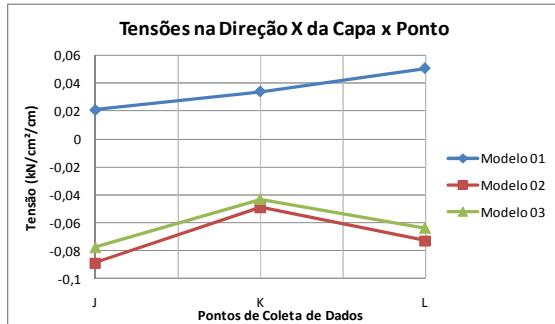


Gráfico 5.216: Tensões na capa do pavimento 1 número de nervuras 9 e espessura de nervura 8cm trecho 8.

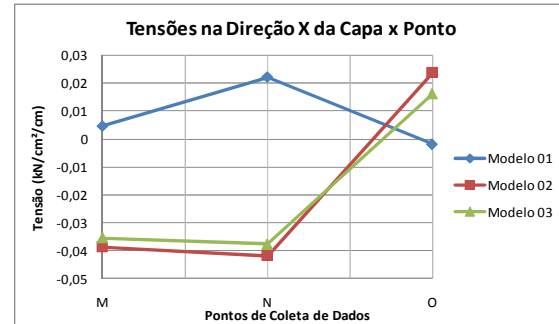


Gráfico 5.217: Tensões na capa do pavimento 1 número de nervuras 9 e espessura de nervura 8cm trecho 9.

Nota-se que devido aos esforços axiais que surgiram no pavimento o comportamento das tensões na capa foi diferente entre os modelos excêntricos e concêntricos. Nota-se que quase toda a capa do pavimento trabalha a compressão nos modelos excêntricos.

Na Tabela 5.70 são apresentados as tensões na capa na direção X e os erros cometidos no modelo concêntrico em relação aos excêntricos, do Gráfico 5.218 até o Gráfico 5.220, são apresentados os diagramas das tensões para o pavimento com sete nervuras por lado.

Tabela 5.70: Tensões na capa do pavimento 1 número de nervuras 7 e espessura de nervura 8cm (kN/cm²/cm).

Pto	Tensões na direção X da capa			Erro de M01 em relação a	
	M01	M02	M03	M02	M03
A	0,002776	-0,1369	-0,11965	102,03%	102,32%
B	0,018824	-0,06436	-0,05679	129,25%	133,15%
C	0,029259	-0,08554	-0,07529	134,21%	138,86%
D	0,033821	-0,09515	-0,08372	135,54%	140,40%
E	0,043842	-0,11245	-0,09857	138,99%	144,48%
F	0,053362	-0,06024	-0,05325	188,59%	200,21%
G	0,057034	-0,08273	-0,07286	168,94%	178,28%
H	0,07796	-0,06062	-0,05434	228,61%	243,46%
I	0,08421	-0,05305	-0,04742	258,74%	277,59%
J	0,098482	0,011274	0,006059	773,55%	1525,47%
			Máximos	774%	1525%

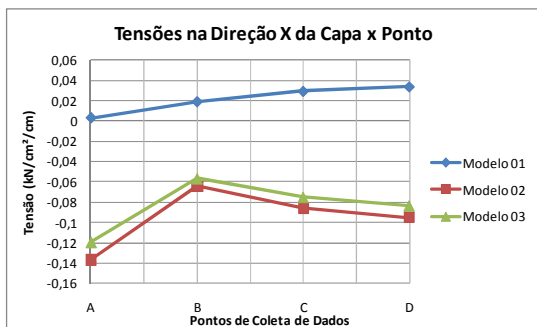


Gráfico 5.218: Tensões na capa do pavimento 1 número de nervuras 7 e espessura de nervura 8cm trecho 5.

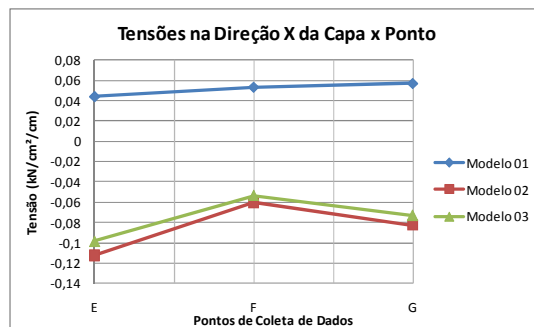


Gráfico 5.219: Tensões na capa do pavimento 1 número de nervuras 7 e espessura de nervura 8cm trecho 6.

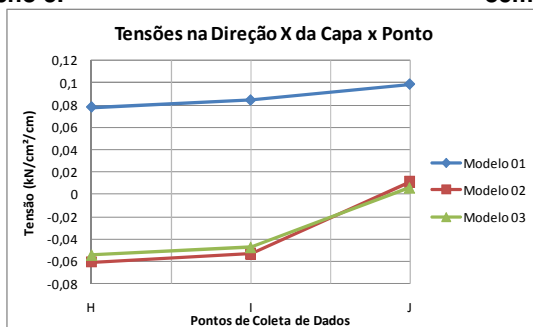


Gráfico 5.220: Tensões na capa do pavimento 1 número de nervuras 7 e espessura de nervura 8cm trecho 7.

Este pavimento tem comportamento semelhante ao anterior. Onde a casca trabalhava a tração agora está trabalhando a compressão.

Na Tabela 5.71 são apresentados os valores das tensões na capa na direção X do pavimento com cinco nervuras por lado e o erro do modelo concêntrico (Modelo 01) em relação aos modelos excêntricos (Modelo 02 e Modelo 03). O Gráfico 5.221 ao Gráfico 5.222 mostram os diagramas das tensões.

Tabela 5.71: Tensões na capa do pavimento 1 número de nervuras 5 e espessura de nervura 8cm (kN/cm²/cm).

Pto	Tensões na direção x da capa			Erro de M01 em relação a	
	M01	M02	M03	M02	M03
A	0,080972	-0,09601	-0,08186	184,33%	198,92%
B	0,124874	-0,04504	-0,03685	377,28%	438,89%
C	0,155578	-0,06006	-0,05012	359,03%	410,40%
D	0,070162	-0,05301	-0,04472	232,35%	256,91%
E	0,108608	-0,03998	-0,03272	371,62%	431,93%
F	0,04789	0,019188	0,016387	149,59%	192,23%
			Máximos	377%	439%

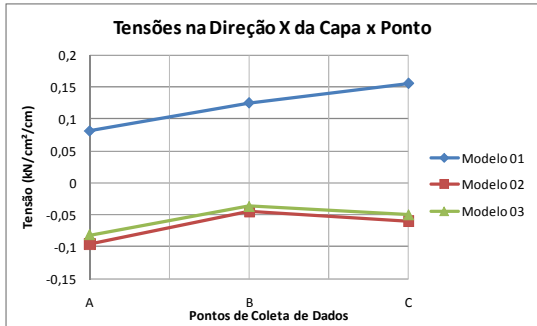


Gráfico 5.221: Tensões na capa do pavimento 1 número de nervuras 5 e espessura de nervura 8cm trecho 4.

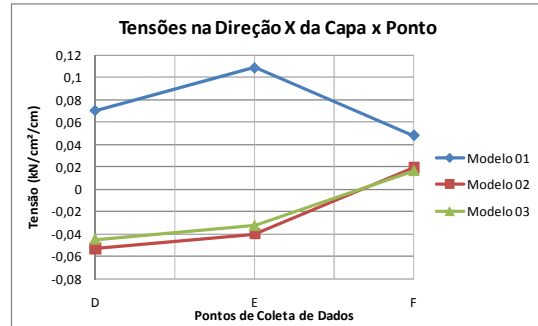


Gráfico 5.222: Tensões na capa do pavimento 1 número de nervuras 5 e espessura de nervura 8cm trecho 5.

Na Tabela 5.72 são apresentados os valores das tensões na capa na direção X do pavimento com quatro nervuras por lado e o erro do modelo concêntrico (Modelo 01) em relação aos modelos excêntricos (Modelo 02 e Modelo 03). O Gráfico 5.223 e o Gráfico 5.224 mostram os diagramas das tensões.

Tabela 5.72: Tensões na capa do pavimento 1 número de nervuras 4 e espessura de nervura 8cm (kN/cm²/cm).

Pto	Tensões na direção x da capa			Erro de M01 em relação a	
	M01	M02	M03	M02	M03
A	0,107655829	-0,08275	-0,06924	230,09%	255,49%
B	0,170259855	-0,03385	-0,02554	603,03%	766,75%
C	0,199617335	-0,04306	-0,03366	563,62%	693,04%
D	0,099933669	-0,05474	-0,0447	282,57%	323,56%
E	0,156017883	-0,03152	-0,0237	594,97%	758,34%
F	0,072574526	0,019372	0,01823	274,64%	298,11%
			Máximos	603%	767%

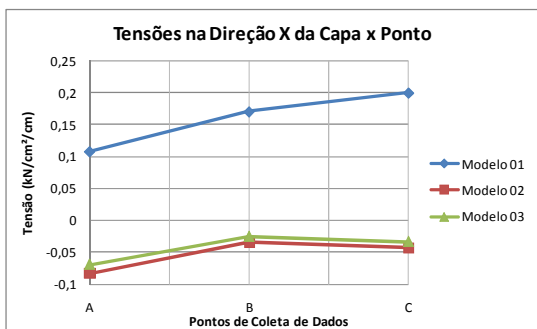


Gráfico 5.223: Tensões na capa do pavimento 1 número de nervuras 4 e espessura de nervura 8cm trecho 4.

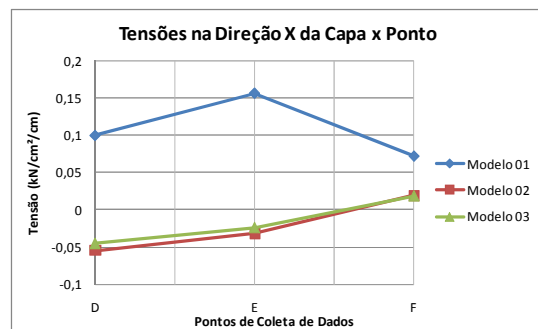


Gráfico 5.224: Tensões na capa do pavimento 1 número de nervuras 4 e espessura de nervura 8cm trecho 5.

Na Tabela 5.73 e no Gráfico 5.225 até o Gráfico 5.228 são mostrados os valores das tensões na capa na direção X no pavimento e os erros do modelo concêntrico em relação aos excêntricos e os diagramas de tensões para o pavimento com três nervuras por lado.

Tabela 5.73: Tensões na capa do pavimento 1 número de nervuras 3 e espessura de nervura 8cm (kN/cm²/cm).

Pto	Tensões na Nervura			Erro de M01 em relação a	
	M01	M02	M03	M02	M03
A	-0,00052265	-0,13120878	-0,11598868	99,60%	99,55%
B	0,06119102	-0,13368363	-0,12478627	145,77%	149,04%
C	0,14485545	-0,08955451	-0,08191635	261,75%	276,83%
D	0,19509216	-0,07384451	-0,06484661	364,19%	400,85%
E	0,18050347	-0,09367783	-0,0853612	292,69%	311,46%
F	0,11138036	-0,05850974	-0,04873923	290,36%	328,52%
G	0,14776141	-0,03438597	-0,02649093	529,71%	657,78%
H	0,09684288	-0,118381	-0,11107048	181,81%	187,19%
I	0,22429977	-0,01193134	-0,00373344	1979,92%	6107,85%
J	0,09004691	0,003865106	0,005471225	2229,74%	1545,83%
K	0,11259907	-0,002056	0,001207916	5576,62%	9221,77%
L	0,03542275	-0,11378213	-0,10662304	131,13%	133,22%
M	0,04505689	-0,10636917	-0,10517676	142,36%	142,84%
N	0,04624291	-0,1067023	-0,10360627	143,34%	144,63%
			Máximos	5577%	9222%

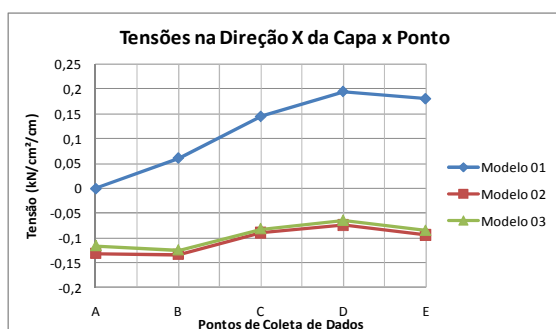


Gráfico 5.225: Tensões na capa do pavimento 1 número de nervuras 3 e espessura de nervura 8cm trecho 4.

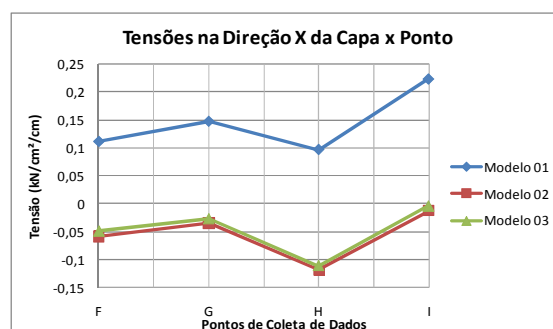


Gráfico 5.226: Tensões na capa do pavimento 1 número de nervuras 3 e espessura de nervura 8cm trecho 5.

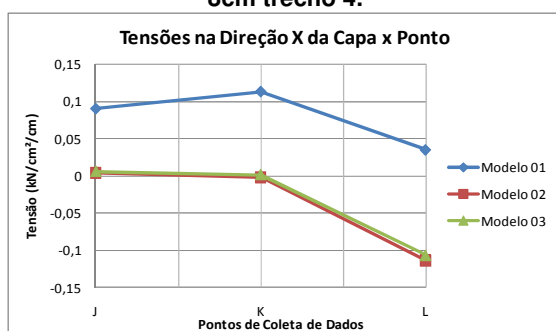


Gráfico 5.227: Tensões na capa do pavimento 1 número de nervuras 3 e espessura de nervura 8cm trecho 6.

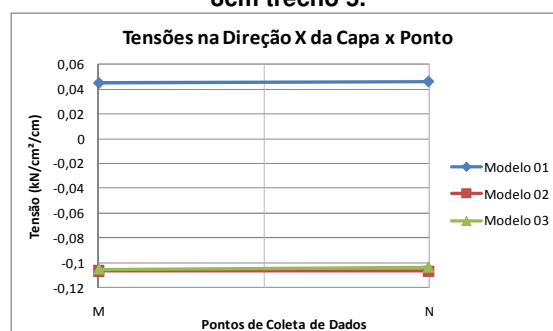


Gráfico 5.228: Tensões na capa do pavimento 1 número de nervuras 3 e espessura de nervura 8cm trecho 7.

Com a redução das nervuras o comportamento das cascas dos modelos estão ficando parecidos, ainda que trabalhando em regimes de tensões diferentes.

As tensões na capa na direção X obtidas do pavimento com duas nervuras e são apresentados na Tabela 5.74, onde também são apresentados os erros do

Modelo 01 (concêntrico) em relação aos Modelos 02 e 03. Do Gráfico 5.229 ao Gráfico 5.231 são apresentados os diagramas.

Tabela 5.74: Tensões na capa do pavimento 1 número de nervuras 2 e espessura de nervura 8cm (kN/cm²/cm).

Pto	Tensões na Nervura			Erro de M01 em relação a	
	M01	M02	M03	M02	M03
A	0,2585021	0,017210253	0,028079716	1402,02%	820,60%
B	0,30406464	0,043462211	0,051694115	599,61%	488,20%
C	0,07060556	-0,22026906	-0,21326685	132,05%	133,11%
D	0,39432066	0,090682434	0,098483071	334,84%	300,39%
E	0,12113526	0,010974964	0,019397144	1003,74%	524,50%
F	0,0007351	-0,19256691	-0,18638297	100,38%	100,39%
G	0,19854767	-0,08871128	-0,08195316	323,81%	342,27%
H	0,18567897	0,030921071	0,035131593	500,49%	428,52%
I	0,21880271	0,037940522	0,042838445	476,70%	410,76%
J	0,22047835	0,043155436	0,04217947	410,89%	422,71%
			Máximos	1402%	821%

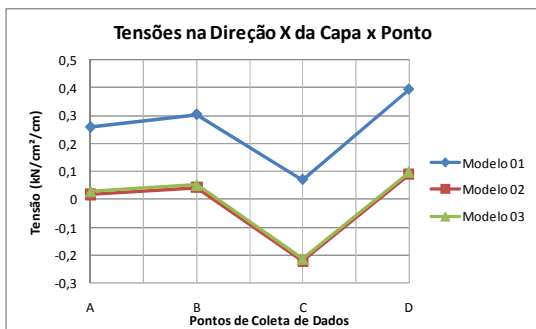


Gráfico 5.229: Tensões na capa do pavimento 1 número de nervuras 2 e espessura de nervura 8cm trecho 5.

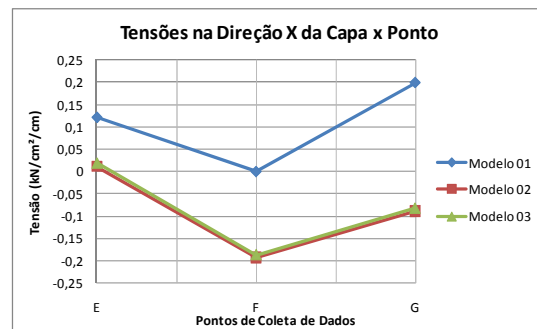


Gráfico 5.230: Tensões na capa do pavimento 1 número de nervuras 2 e espessura de nervura 8cm trecho 6.

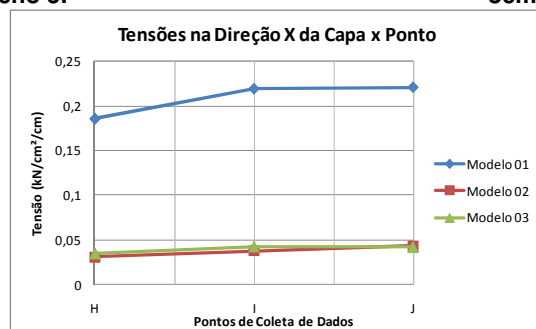


Gráfico 5.231: Tensões na capa do pavimento 1 número de nervuras 2 e espessura de nervura 8cm trecho 7.

Na Tabela 5.75 e no Gráfico 5.232 até o Gráfico 5.234 são mostrados os valores das tensões na capa na direção X do pavimento e os erros do modelo concêntrico em relação aos excêntricos e os diagramas para o pavimento com uma nervura por lado.

Tabela 5.75: Tensões na capa do pavimento 1 número de nervuras 1 e espessura de nervura 8cm (kN/cm²/cm).

Pto	Tensões na direção x da capa			Erro de M01 em relação a	
	M01	M02	M03	M02	M03
A	0,056908	-0,21299	-0,17904	126,72%	131,78%
B	0,390305	0,217267	0,229861	79,64%	69,80%
C	0,155606	0,184753	0,193442	15,78%	19,56%
D	0,315215	-0,07375	-0,06822	527,41%	562,07%
E	0,110198	-0,15292	-0,14424	172,06%	176,40%
F	0,479857	0,206631	0,21306	132,23%	125,22%
G	0,51646	0,219655	0,225504	135,12%	129,03%
H	0,11128	-0,0907	-0,09325	222,69%	219,33%
I	0,551289	0,205948	0,209113	167,68%	163,63%
J	0,016343	-0,02991	-0,04488	154,64%	136,41%
			Máximos	527%	562%

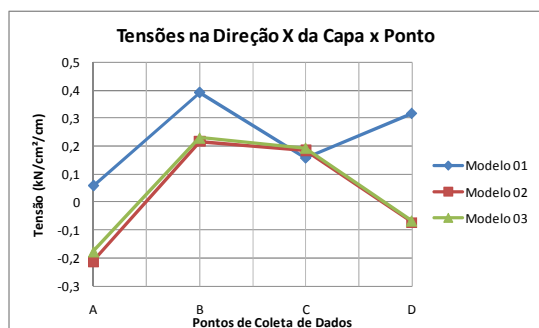


Gráfico 5.232: Tensões na capa do pavimento 1 número de nervuras 1 e espessura de nervura 8cm trecho 4.

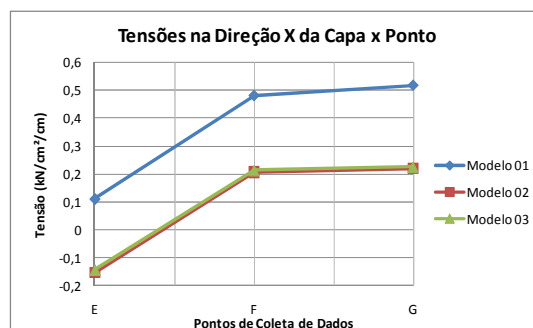


Gráfico 5.233: Tensões na capa do pavimento 1 número de nervuras 1 e espessura de nervura 8cm trecho 5.

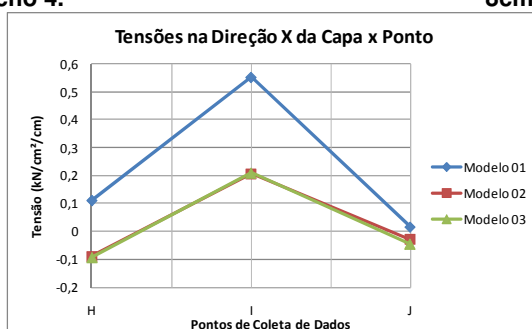


Gráfico 5.234: Tensões na capa do pavimento 1 número de nervuras 1 e espessura de nervura 8cm trecho 6.

As tensões nos modelos excêntricos tendem a inverter de sinal devido aos esforços axiais provenientes desta consideração. Quando em pavimentos com muitas nervuras chega-se a mudar o comportamento das tensões.

As tensões na capa na direção X do pavimento sem nervuras são apresentados na Tabela 5.76, onde também são apresentados os erros do Modelo 01 (concêntrico) em relação aos Modelos 02 e 03. Do Gráfico 5.235 ao Gráfico 5.237 são apresentados os diagramas de tensões.

Tabela 5.76: Tensões na direção X da capa do pavimento 01 número sem nervuras (kN/cm²/cm).

Pto	Tensões na Nervura			Erro de M01 em relação a	
	M01	M02	M03	M02	M03
A	0,00011844	-0,00011152	-9,7329E-05	194,16%	182,18%
B	0,00067447	0,00034101	0,000354692	49,44%	47,41%
C	0,00104399	0,000631173	0,000644385	39,54%	38,28%
D	0,00119572	0,000749351	0,000762475	37,33%	36,23%
E	0,00010883	-0,00011824	-0,00010858	208,65%	199,77%
F	0,00062581	0,000269178	0,000279993	56,99%	55,26%
G	0,00096202	0,00051778	0,000530219	46,18%	44,88%
H	8,0407E-05	-0,00011079	-0,00011131	237,79%	238,44%
I	0,00047224	5,97311E-05	6,52075E-05	87,35%	86,19%
J	1,1306E-05	-8,4595E-05	-9,6013E-05	848,21%	949,19%
			Máximos	848%	949%

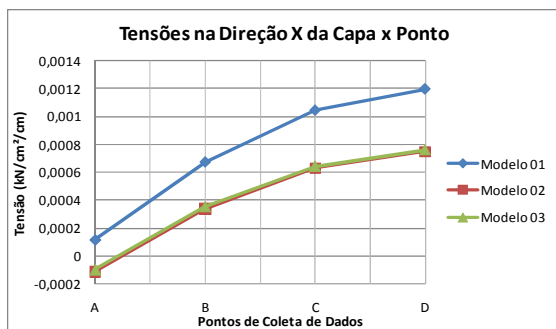


Gráfico 5.235: Tensões na capa do pavimento 1 sem nervuras trecho 4.

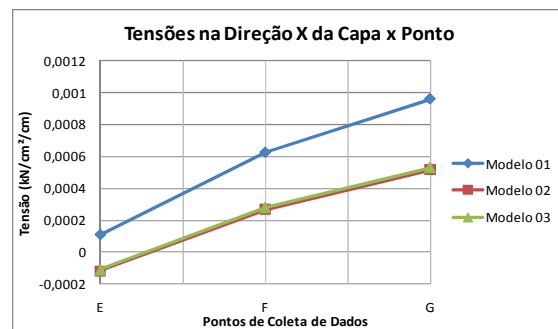


Gráfico 5.236: Tensões na capa do pavimento 1 sem nervuras trecho 5.

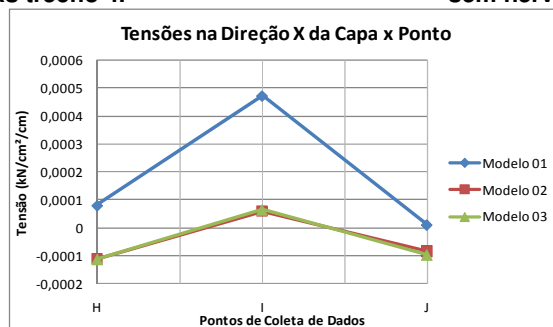


Gráfico 5.237: Tensões na capa do pavimento 1 sem nervuras trecho 6.

Apesar de aparecerem diferenças de até 949% entre os modelos, as diferenças perto do centro do pavimento ficam entre 37% e 49% para o Modelo 02 e 36% e 47% por cento para o Modelo 03.

5.2.6 Tensões na direção Y da capa

Os cálculos das tensões foram feitos de acordo com a resistência dos materiais, somando a parcela de tensões proveniente do momento fletor e dos esforços axiais. Nos cálculos foram considerados as uma faixa de laje com uma unidade de comprimento e altura de valor igual a espessura da mesma.

Na Tabela 5.77 são apresentados os valores das tensões na capa na direção Y do pavimento com nove nervuras por lado e o erro do modelo concêntrico (Modelo 01) em relação aos modelos excêntricos (Modelo 02 e Modelo 03). O Gráfico 5.238 até o Gráfico 5.241 mostram os diagramas das tensões.

Tabela 5.77: Tensões na capa do pavimento 1 número de nervuras 9 e espessura de nervura 8cm (kN/cm²/cm).

Pto	Tensões na direção Y da Capa			Erro de M01 em relação a	
	M01	M02	M03	M02	M03
A	0,01506747	-0,01787484	-0,01631388	184,29%	192,36%
B	0,0465501	-0,10883549	-0,09440984	142,77%	149,31%
C	0,06147234	-0,09953746	-0,0864058	161,76%	171,14%
D	0,07278874	-0,09868373	-0,08577288	173,76%	184,86%
E	0,07945047	-0,09978553	-0,08683549	179,62%	191,50%
F	0,01452358	-0,01661978	-0,0151894	187,39%	195,62%
G	0,04377491	-0,10014429	-0,08716346	143,71%	150,22%
H	0,05848413	-0,09312389	-0,08095784	162,80%	172,24%
I	0,06923668	-0,09317334	-0,0810109	174,31%	185,47%
J	0,01320296	-0,01385286	-0,01264093	195,31%	204,45%
K	0,03750477	-0,08123539	-0,07146231	146,17%	152,48%
L	0,05143665	-0,07871671	-0,06874552	165,34%	174,82%
M	0,00853325	-0,01157886	-0,01031568	173,70%	182,72%
N	0,02209597	-0,0528029	-0,04786542	141,85%	146,16%
O	0,00478055	-0,013398	-0,01422247	135,68%	133,61%
			Máximos	195%	204%

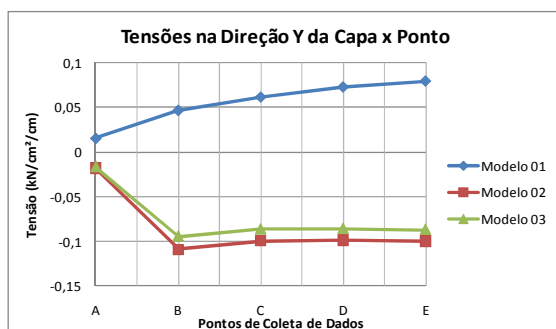


Gráfico 5.238: Tensões na capa do pavimento 1 número de nervuras 9 e espessura de nervura 8cm trecho 6.

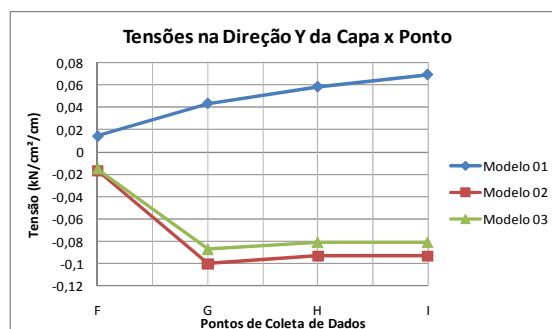


Gráfico 5.239: Tensões na capa do pavimento 1 número de nervuras 9 e espessura de nervura 8cm trecho 7.

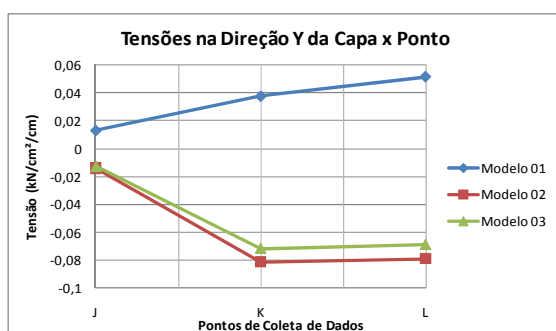


Gráfico 5.240: Tensões na capa do pavimento 1 número de nervuras 9 e espessura de nervura 8cm trecho 8.

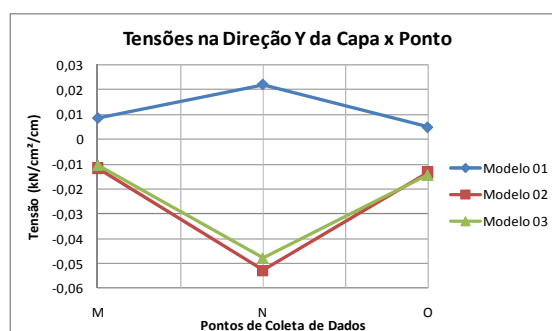


Gráfico 5.241: Tensões na capa do pavimento 1 número de nervuras 9 e espessura de nervura 8cm trecho 9.

Na Tabela 5.78 são apresentados os valores das tensões na capa na direção Y do pavimento com sete nervuras por lado e o erro do modelo concêntrico (Modelo 01) em relação aos modelos excêntricos (Modelo 02 e Modelo 03). O Gráfico 5.242 ao Gráfico 5.244 mostram os diagramas das tensões.

Tabela 5.78: Tensões na capa do pavimento 1 número de nervuras 7 e espessura de nervura 8cm (kN/cm²/cm).

Pto	Tensões na direção Y da capa			Erro de M01 em relação a	
	M01	M02	M03	M02	M03
A	0,010358	-0,02087	-0,01887	149,64%	154,90%
B	0,017417	-0,10261	-0,08997	116,97%	119,36%
C	0,020348	-0,09524	-0,08363	121,37%	124,33%
D	0,021496	-0,09577	-0,08419	122,45%	125,53%
E	0,044694	-0,01852	-0,01678	341,35%	366,28%
F	0,056605	-0,09079	-0,08003	162,35%	170,73%
G	0,061754	-0,08648	-0,07604	171,41%	181,22%
H	0,078154	-0,01533	-0,01345	609,72%	681,16%
I	0,084625	-0,0646	-0,05801	230,99%	245,87%
J	0,098389	-0,01956	-0,01937	603,12%	607,88%
			Máximos	610%	681%

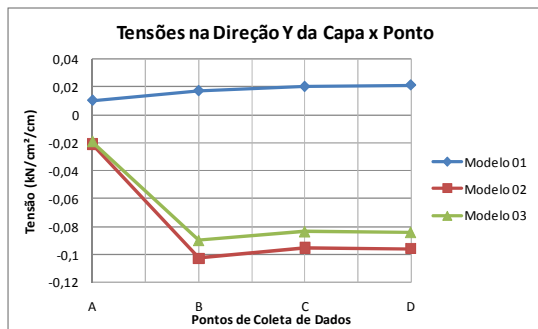


Gráfico 5.242: Tensões na capa do pavimento 1 número de nervuras 7 e espessura de nervura 8cm trecho 5.

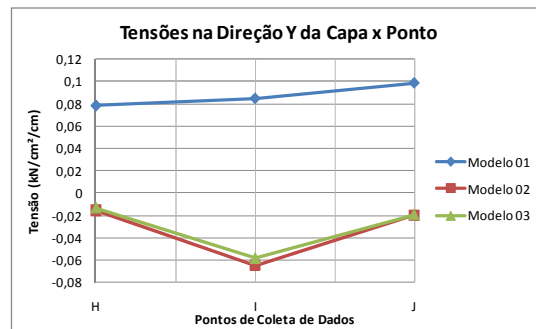


Gráfico 5.243: Tensões na capa do pavimento 1 número de nervuras 7 e espessura de nervura 8cm trecho 6.

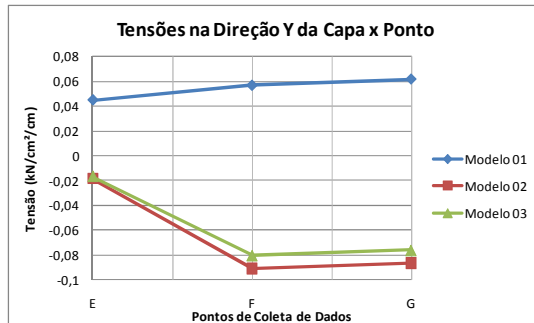


Gráfico 5.244: Tensões na capa do pavimento 1 número de nervuras 7 e espessura de nervura 8cm trecho 7.

Na Tabela 5.79 são apresentados as tensões da capa na direção Y e os erros cometidos no modelo concêntrico em relação aos excêntricos, no Gráfico

5.245 e no Gráfico 5.246, são apresentados os diagramas das tensões para o pavimento com cinco nervuras por lado.

Tabela 5.79: Tensões na capa do pavimento 1 número de nervuras 5 e espessura de nervura 8cm (kN/cm²/cm).

Pto	Tensões na direção y da capa			Erro de M01 em relação a	
	M01	M02	M03	M02	M03
A	0,068312	-0,00319	-0,00012	2243,29%	55007,09%
B	0,124601	-0,06376	-0,05348	295,42%	332,98%
C	0,155248	-0,06078	-0,05069	355,41%	406,30%
D	0,062265	0,001666	0,004364	3638,27%	1326,90%
E	0,108508	-0,04507	-0,03724	340,77%	391,41%
F	0,053651	0,010823	0,010711	395,70%	400,91%
			Máximos	3638%	55007%

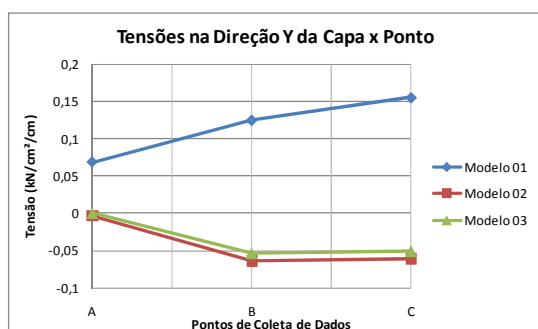


Gráfico 5.245: Tensões na capa do pavimento 1 número de nervuras 5 e espessura de nervura 8cm trecho 4.

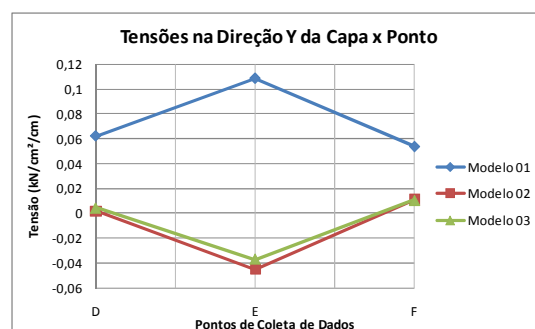


Gráfico 5.246: Tensões na capa do pavimento 1 número de nervuras 5 e espessura de nervura 8cm trecho 5.

Na Tabela 5.80 e no Gráfico 5.247 e no Gráfico 5.248 são mostrados os valores das tensões na capa na direção Y no pavimento e os erros do modelo concêntrico em relação aos excêntricos e os diagramas de tensões para o pavimento com quatro nervuras por lado.

Tabela 5.80: Tensões na capa do pavimento 1 número de nervuras 4 e espessura de nervura 8cm (kN/cm²/cm).

Pto	Tensões na direção y da capa			Erro de M01 em relação a	
	M01	M02	M03	M02	M03
A	0,096095657	0,004861	0,008253	1877,00%	1064,35%
B	0,168334784	-0,04587	-0,03642	466,96%	562,18%
C	0,199617335	-0,04306	-0,03366	563,62%	693,04%
D	0,090553499	0,008778	0,012001	931,55%	654,56%
E	0,155324126	-0,03516	-0,02695	541,73%	676,41%
F	0,080017072	0,014909	0,015714	436,71%	409,22%
			Máximos	1877%	1064%

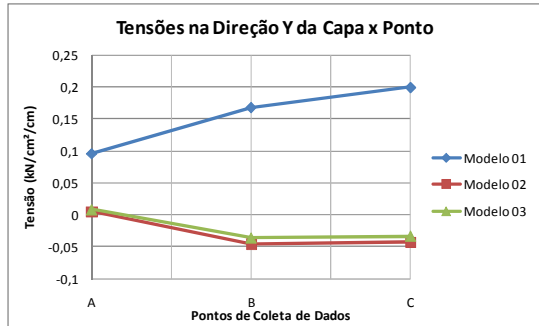


Gráfico 5.247: Tensões na capa do pavimento 1 número de nervuras 4 e espessura de nervura 8cm trecho 4.

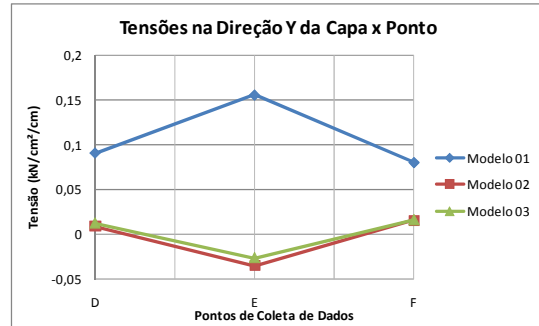


Gráfico 5.248: Tensões na capa do pavimento 1 número de nervuras 4 e espessura de nervura 8cm trecho 5.

Na Tabela 5.81 são apresentados os valores das tensões na capa na direção Y do pavimento com três nervuras por lado e o erro do modelo concêntrico (Modelo 01) em relação aos modelos excêntricos (Modelo 02 e Modelo 03). Do Gráfico 5.249 ao Gráfico 5.252 mostram os diagramas desse esforço.

Tabela 5.81: Tensões na capa do pavimento 1 número de nervuras 3 e espessura de nervura 8cm (kN/cm²/cm).

Pto	Tensões na Nervura			Erro de M01 em relação a	
	M01	M02	M03	M02	M03
A	0,06396111	-0,03603588	-0,03141325	277,49%	303,61%
B	0,12077397	-0,0554439	-0,04871642	317,83%	347,91%
C	0,14020012	-0,09567458	-0,08734667	246,54%	260,51%
D	0,12425357	-0,1297562	-0,12168194	195,76%	202,11%
E	0,18050347	-0,09367783	-0,0853612	292,69%	311,46%
F	0,11104162	0,003182119	0,006412833	3389,55%	1631,55%
G	0,14314872	-0,00295861	0,002440426	4938,38%	5765,73%
H	0,14758538	-0,07618822	-0,06795479	293,71%	317,18%
I	0,21955175	-0,0129514	-0,00500399	1795,20%	4487,53%
J	0,10799787	0,009642572	0,011508557	1020,01%	838,41%
K	0,11259907	-0,002056	0,001207916	5576,62%	9221,77%
L	0,09763952	-0,05164261	-0,04571567	289,07%	313,58%
M	0,03737626	0,01184161	0,001774095	215,63%	2006,78%
N	0,03824698	-0,04860482	-0,04664633	178,69%	181,99%
			Máximos	5577%	9222%

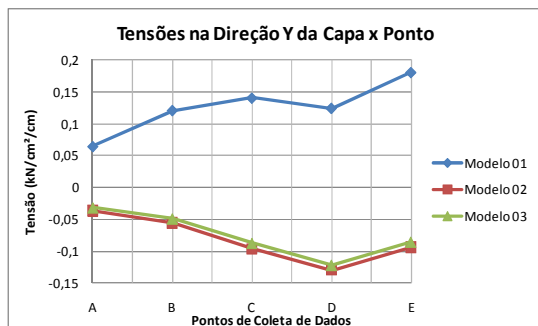


Gráfico 5.249: Tensões na capa do pavimento 1 número de nervuras 3 e espessura de nervura 8cm trecho 4.

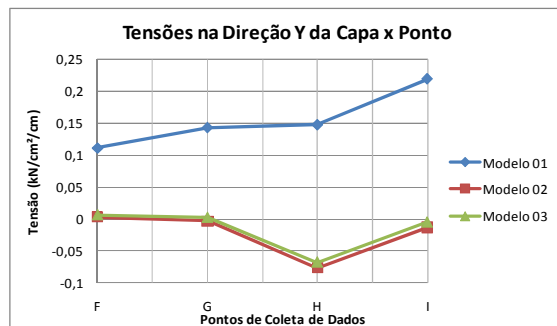


Gráfico 5.250: Tensões na capa do pavimento 1 número de nervuras 3 e espessura de nervura 8cm trecho 5.

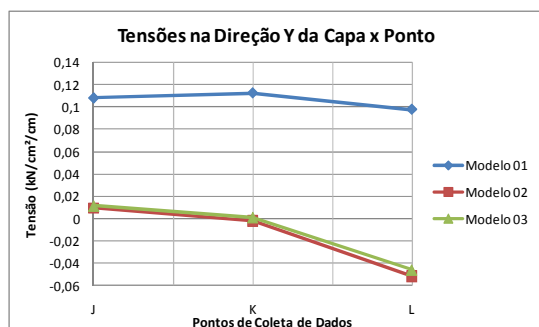


Gráfico 5.251: Tensões na capa do pavimento 1 número de nervuras 3 e espessura de nervura 8cm trecho 6.

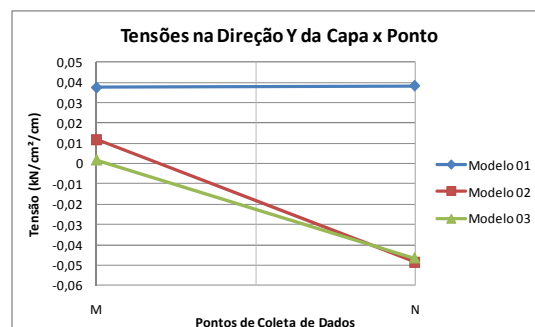


Gráfico 5.252: Tensões na capa do pavimento 1 número de nervuras 3 e espessura de nervura 8cm trecho 7.

As tensões na capa na direção Y obtidas do pavimento com duas nervuras e são apresentados na Tabela 5.82, onde também são apresentados os erros do Modelo 01 (concêntrico) em relação aos Modelos 02 e 03. Do Gráfico 5.253 ao Gráfico 5.255 são apresentados os diagramas.

Tabela 5.82: Tensões na capa do pavimento 1 número de nervuras 2 e espessura de nervura 8cm (kN/cm²/cm).

Pto	Tensões na Nervura			Erro de M01 em relação a	
	M01	M02	M03	M02	M03
A	0,24299369	0,079798288	0,082775965	204,51%	193,56%
B	0,28102044	0,071777255	0,077863939	291,52%	260,91%
C	0,22544598	-0,09619765	-0,08705536	334,36%	358,97%
D	0,39432066	0,090682434	0,098483071	334,84%	300,39%
E	0,06911245	-0,07281455	-0,06577578	194,92%	205,07%
F	0,15413219	-0,07636808	-0,06892179	301,83%	323,63%
G	0,19854767	-0,08871128	-0,08195316	323,81%	342,27%
H	0,21313995	0,042740464	0,04579256	398,68%	365,45%
I	0,21880271	0,037940522	0,042838445	476,70%	410,76%
J	0,22047835	0,043155436	0,04217947	410,89%	422,71%
			Máximos	477%	423%

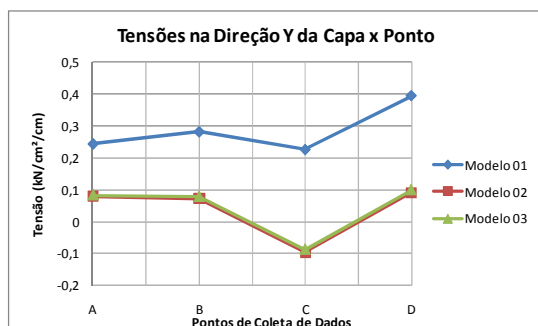


Gráfico 5.253: Tensões na capa do pavimento 1 número de nervuras 2 e espessura de nervura 8cm trecho 5.

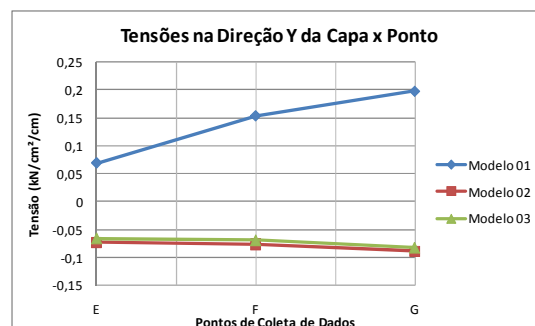


Gráfico 5.254: Tensões na capa do pavimento 1 número de nervuras 2 e espessura de nervura 8cm trecho 6.

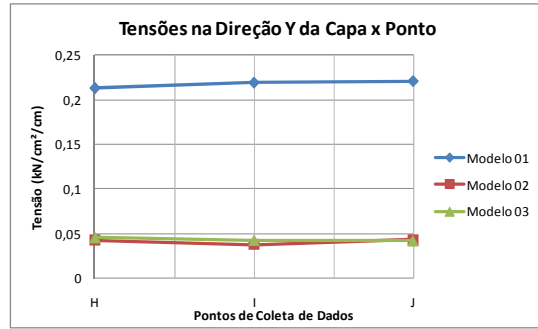


Gráfico 5.255: Tensões na capa do pavimento 1 número de nervuras 2 e espessura de nervura 8cm trecho 7.

Na Tabela 5.83 e no Gráfico 5.256 até o Gráfico 5.258 são mostrados os valores das tensões na capa na direção Y do pavimento e os erros do modelo concêntrico em relação aos excêntricos e os diagramas para o pavimento com uma nervura por lado.

Tabela 5.83: Tensões na capa do pavimento 1 número de nervuras 1 e espessura de nervura 8cm (kN/cm²/cm).

Pto	Tensões na direção y da capa			Erro de M01 em relação a	
	M01	M02	M03	M02	M03
A	0,030489	-0,08184	-0,07576	137,25%	140,24%
B	0,145344	-0,12917	-0,11886	212,52%	222,28%
C	0,266347	-0,12251	-0,11313	317,41%	335,43%
D	0,315215	-0,07375	-0,06822	527,41%	562,07%
E	0,131587	-0,44459	-0,43821	129,60%	130,03%
F	0,531698	0,208068	0,213352	155,54%	149,21%
G	0,51646	0,219655	0,225504	135,12%	129,03%
H	0,138142	-0,49141	-0,48681	128,11%	128,38%
I	0,551289	0,205948	0,209113	167,68%	163,63%
J	0,016343	-0,02991	-0,04488	154,64%	136,41%
			Máximos	527%	562%

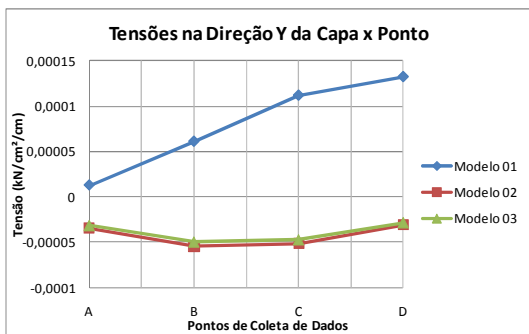


Gráfico 5.256: Tensões na capa do pavimento 1 número de nervuras 1 e espessura de nervura 8cm trecho 4.

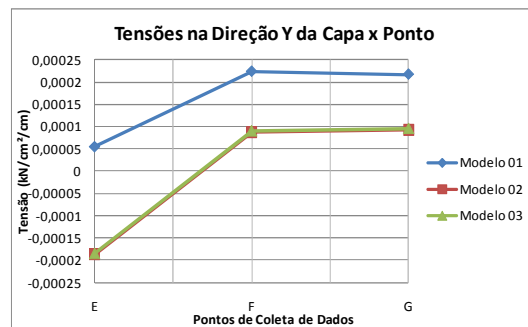


Gráfico 5.257: Tensões na capa do pavimento 1 número de nervuras 1 e espessura de nervura 8cm trecho 5.

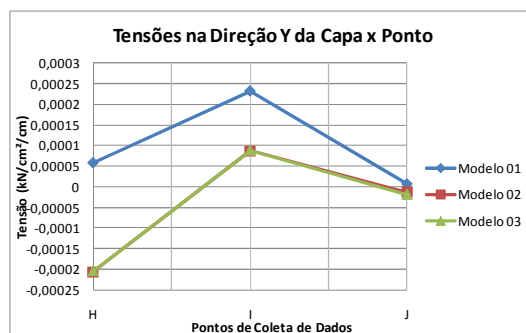


Gráfico 5.258: Tensões na capa do pavimento 1 número de nervuras 1 e espessura de nervura 8cm trecho 6.

As tensões na capa na direção Y do pavimento sem nervuras são apresentados na Tabela 5.84, onde também são apresentados os erros do Modelo 01 (concêntrico) em relação aos Modelos 02 e 03. Do Gráfico 5.259 ao Gráfico 5.261 são apresentados os diagramas de tensões.

Tabela 5.84: Tensões na direção Y da capa do pavimento 01 sem nervuras (kN/cm²/cm).

Pto	Tensões na Nervura			Erro de M01 em relação a	
	M01	M02	M03	M02	M03
A	0,00014853	-0,00055131	-0,00052073	471,17%	450,58%
B	0,00079766	0,00022734	0,000243762	71,50%	69,44%
C	0,00109786	0,00061711	0,000630427	43,79%	42,58%
D	0,00119572	0,000749351	0,000762475	37,33%	36,23%
E	0,00013414	-0,00057679	-0,00055771	529,99%	515,77%
F	0,00070694	0,000176876	0,000189582	74,98%	73,18%
G	0,00096202	0,00051778	0,000530219	46,18%	44,88%
H	9,5099E-05	-0,00051501	-0,00051782	641,55%	644,51%
I	0,00047224	5,97311E-05	6,52075E-05	87,35%	86,19%
J	1,1306E-05	-8,4595E-05	-9,6013E-05	848,21%	949,19%
			Máximos	848%	949%

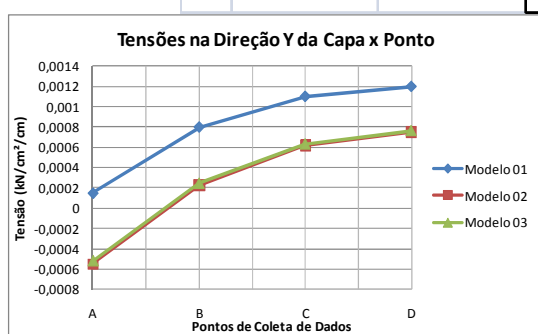


Gráfico 5.259: Tensões na capa do pavimento 1 sem nervuras trecho 4.

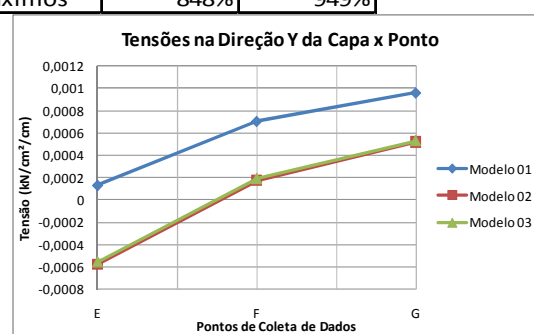


Gráfico 5.260: Tensões na capa do pavimento 1 sem nervuras trecho 5.

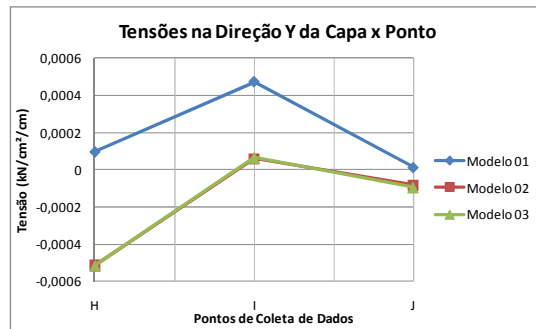


Gráfico 5.261: Tensões na capa do pavimento 1 sem nervuras trecho 6.

Na direção Y as tensões entre os modelos excêntricos e concêntricos possuem o mesmo comportamento. Existem picos de diferenças de até 848% para o Modelo 02 e 949% para o Modelo 03, essa diferença se dá em pontos em que há inversão de sinal no momento fletor.

Em trechos em que os momentos fletores são de mesmo sinal e estão perto do centro do pavimento as diferenças ficam entre 37% e 72% para o Modelo 02 e 36% e 79% para o Modelo 03.

Este pavimento apresentou grandes diferenças de deslocamentos e tensões das lajes quando se considera a excentricidade. Numa visão geral os deslocamentos chegaram a ser até 134% menores para o Modelo 02 e 137% para o Modelo 03. E as tensões foram menores em 37% para o Modelo 02 e 36% para o Modelo 03.

Em termos de deslocamentos, isto significa uma melhora na representatividade do modelo. Já em termos de tensões, significa redução de armadura ou redução de seção dos elementos.

É importante observar, que este tipo de análise só é possível quando se considera elemento de casca na representação da laje. Caso a análise seja feita com elemento de placa, por exemplo, o elemento DKT, estes resultados não serão alcançados. Pois o elemento de placa não possui rigidez no seu plano.

Do Gráfico 5.262 ao Gráfico 5.264 são apresentadas as diferenças percentuais dos deslocamentos e tensões no centro das lajes. As diferenças são calculadas do modelo concêntrico em relação aos excêntricos.

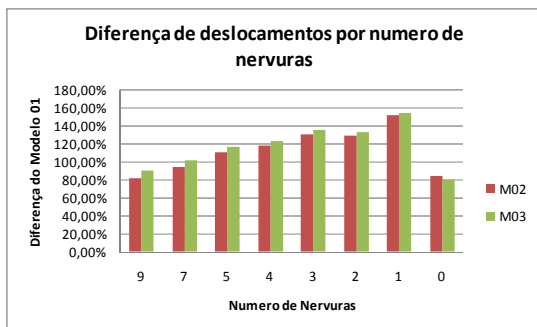


Gráfico 5.262: Diferença de deslocamentos entre o modelo concêntrico e os excêntricos.

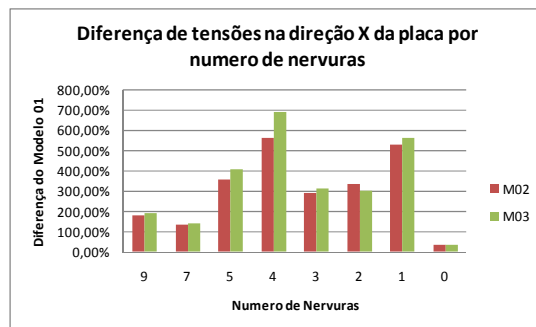


Gráfico 5.263: Diferença de tensões na direção X da laje entre o modelo concêntrico e os excêntricos.

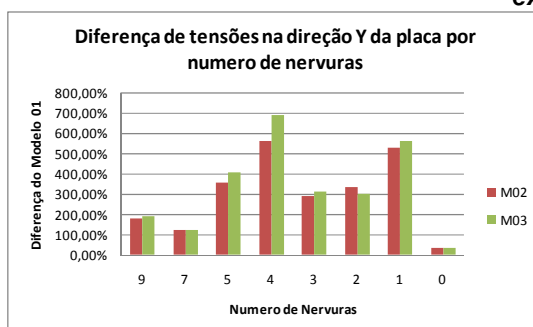


Gráfico 5.264: Diferença de tensões na direção Y da laje entre o modelo concêntrico e os excêntricos.

5.3 Estudo de um pavimento real.

5.3.1 Apresentação do problema.

A Figura 5.17 apresenta a planta de um edifício real cedido por Ebm Incorporações Ltda. Este edifício foi discretizado com o modelo concêntrico e os excêntricos. Os resultados de deslocamentos e esforços das vigas 05, 11 e 34 e o centro das lajes L1, L3, L5, L6, L9, L12, L13 e L14 são apresentados e comparados com mais detalhes na seqüência.

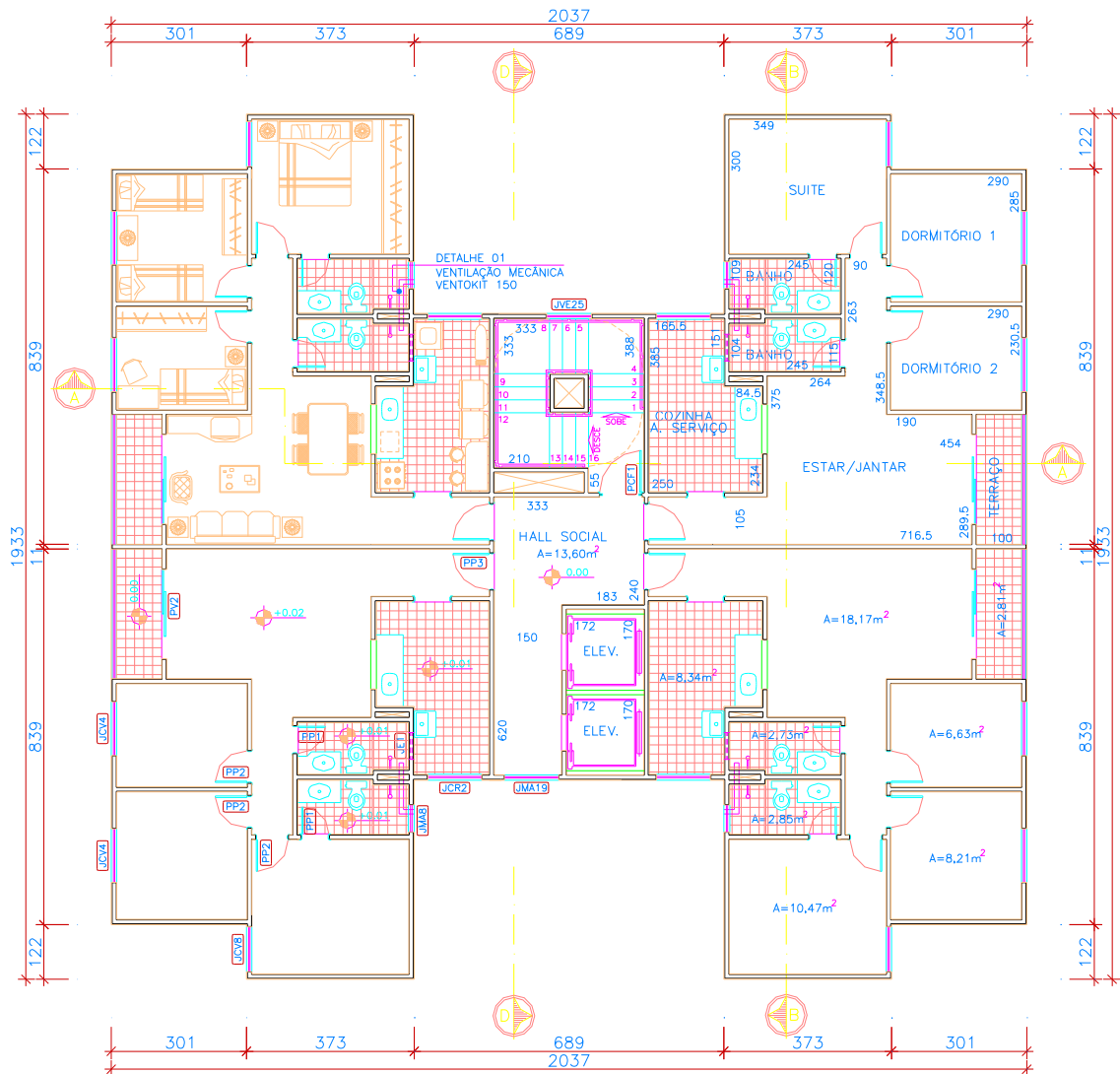


Figura 5.17: Planta do pavimento tipo do pavimento analisado.

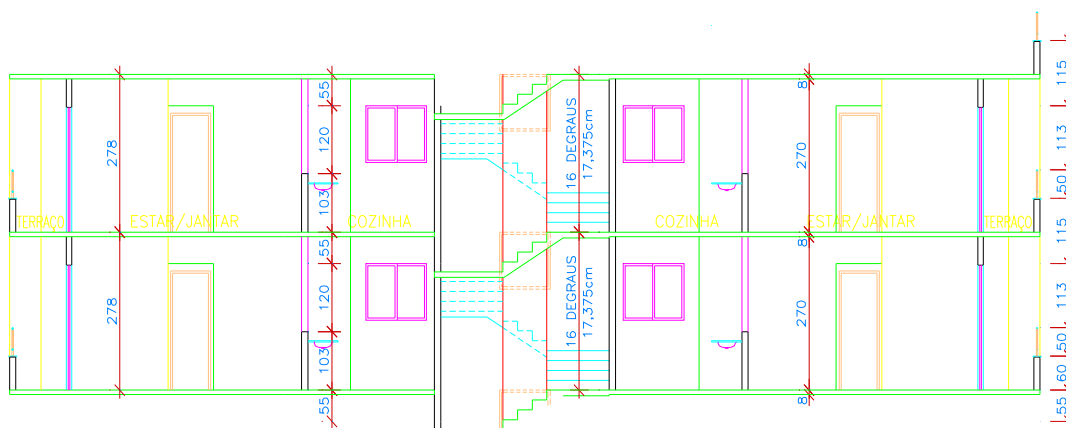


Figura 5.18: Corte A-A da planta

Com base nesses desenhos elaborou-se a planta de forma para o pavimento, indicada na Figura 5.19.

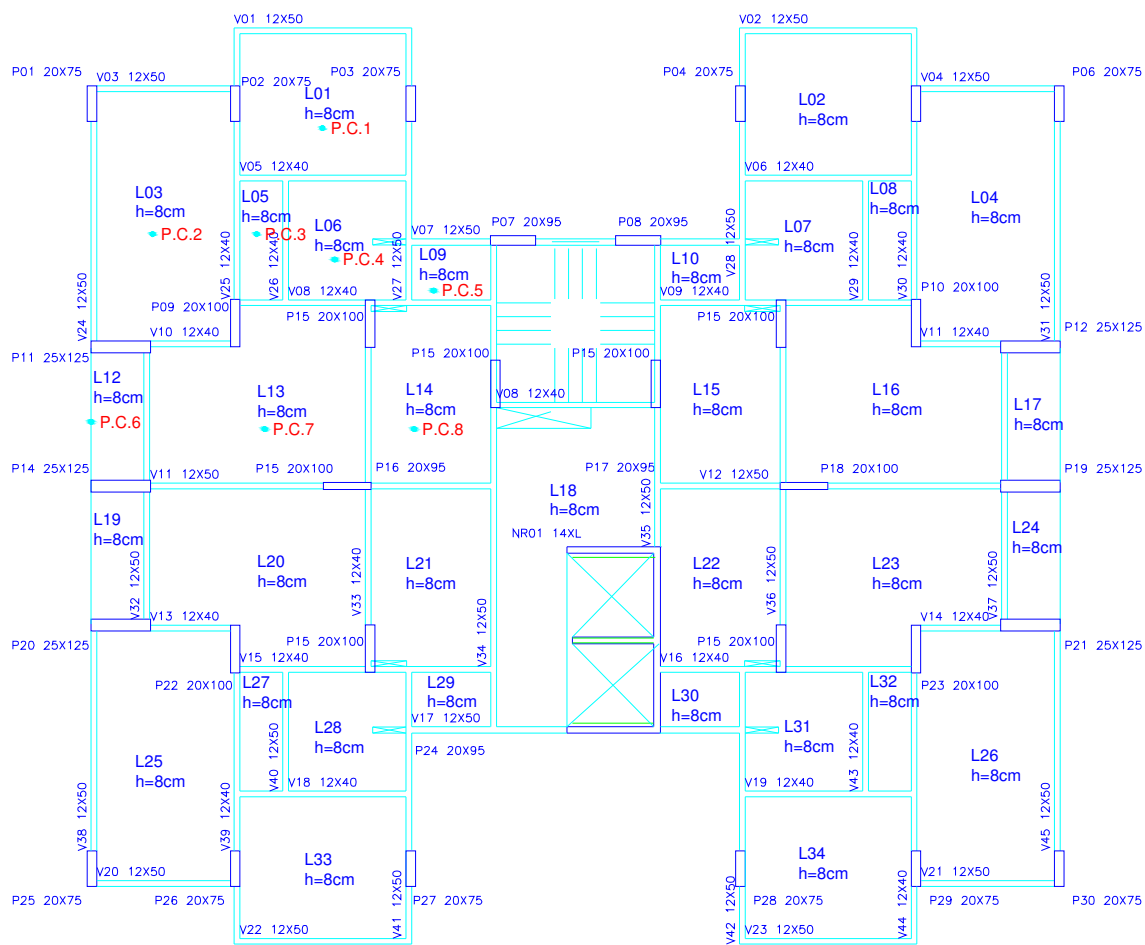


Figura 5.19: Planta de Fôrmas da estrutura.

Os P.C.'s indicam as lajes que foram coletados os dados das referentes a análises de cascas deste trabalho. Estes pontos devem ser entendidos como o centro das lajes, exceto pela Laje L12 em que o ponto analisado foi a borda.

5.3.2 Determinação dos carregamentos dos panos das lajes

Para determinar as ações, primeiro foram separados os grupos de lajes que tem as mesmas funções, conforme ilustrado na Tabela 5.85.

Tabela 5.85: Separação dos Grupos de Lajes.

Grupo de Lajes	
Nome do grupo	Lajes pertencentes
1	01-02-32-33
2	03-04-24-25
3	05-08-26-31
4	06-07-27-30
5	09-10-28-29
6	11-16-18-23
7	12-15-19-22
8	13-14-20-21
9	17

As cargas permanentes dos pesos próprios dos componentes da estrutura e arquitetônicos foram obtidas com referência na Norma Brasileira NBR 6120:1980, na Tabela 5.86 são apresentadas as ações acidentais prescritas nessa norma:

Tabela 5.86: Pesos próprios dos elementos estruturais e arquitetônicos.

Material	Peso Específico Aparente	Espessura	Altura	γ_g
Peso próprio da laje	25,00 kN/m ³	0,08 m	----	1,4
Peso próprio das vigas 12X50	25,00 kN/m ³	0,12 m	0,50 m	1,4
Peso próprio das vigas 12X40	25,00 kN/m ³	0,12 m	0,40 m	1,4
Pilares 20X75	25,00 kN/m ³	0,20 m	0,75 m	1,4
Pilares 20X100	25,00 kN/m ³	0,20 m	1,00 m	1,4
Pilares 25X125	25,00 kN/m ³	0,25 m	1,25 m	1,4
Revestimento da laje	19,00 kN/m ³	0,03 m	----	1,4
Bloco cerâmico	13,00 kN/m ³	0,09 m	2,70 m	1,4
Revestimento da parede	29,00 kN/m ³	0,03 m	2,70 m	1,4
Enchimento das lajes do banheiro	13,00 kN/m ³	0,10 m	----	1,4

Tabela 5.87: Ações acidentais mínimas prescritas por norma

Locais	Ação mínima
Dormitórios, copa, sala, cozinha e banheiro	1,50 kN/m ²
Despensa, área de serviço e lavanderia	2,00 kN/m ²
Terraço acessível ao público	3,00 kN/m ²
Corredores com acesso ao público	3,00 kN/m ²
Escadas sem acesso ao público	2,50 kN/m ²

Com base nesses dados foram calculadas as seguintes ações nas lajes:

Tabela 5.88: Tabela de ações nas Lajes.

Grupo de laje	Ação permanente	Peso de paredes	γ_g	Ação variável normal	γ_c	Ação total de cálculo
1	3,60 kN/m ²	0,00 kN/m ²	1,4	1,50 kN/m ²	1,4	5,70 kN/m ²
2	3,60 kN/m ²	1,62 kN/m ²	1,4	1,50 kN/m ²	1,4	7,96 kN/m ²
3	3,60 kN/m ²	0,00 kN/m ²	1,4	1,50 kN/m ²	1,4	5,70 kN/m ²
4	5,42 kN/m ²	4,55 kN/m ²	1,4	1,50 kN/m ²	1,4	13,89 kN/m ²
5	3,60 kN/m ²	0,00 kN/m ²	1,4	2,00 kN/m ²	1,4	6,40 kN/m ²
6	3,60 kN/m ²	0,00 kN/m ²	1,4	1,50 kN/m ²	1,4	5,70 kN/m ²
7	3,60 kN/m ²	0,00 kN/m ²	1,4	1,50 kN/m ²	1,4	5,70 kN/m ²
8	3,60 kN/m ²	1,23 kN/m ²	1,4	2,00 kN/m ²	1,4	8,12 kN/m ²
9	3,60 kN/m ²	0,00 kN/m ²	1,4	3,00 kN/m ²	1,4	7,80 kN/m ²

A Tabela 5.89 contém os carregamentos aplicados nas vigas com paredes e os carregamentos aplicados nas bordas da sacada para representar o peitoril.

Tabela 5.89: Ações das vigas e das sacadas.

Dimensões das vigas	Peso Próprio	Carga de paredes	total
12X40	1,68 kN/m	7,71 kN/m	9,39 kN/m
12X50	2,10 kN/m	7,71 kN/m	9,81 kN/m
Carga vertical na sacada	0	3,14 kN/m	3,14 kN/m
Carga momento na sacada	0	1,23 kN*m/m	1,23 kN*m/m

A seguir tem-se as propriedades do material utilizado no modelo.

Tabela 5.90: Propriedades do material concreto armado adotado.

F _{ck} (Mpa)	E _{cs} (kN/m ²)	G _c (kN/m ²)	v
30	71400000	28560000	0,2

Na Tabela 5.91 são apresentadas as propriedades dos elementos lineares considerando seção integral. Porém nos exemplos foram aplicados os fatores de redução de inércia recomendados pela Norma Brasileira NBR6118:2003 para representar as seções fissuradas.

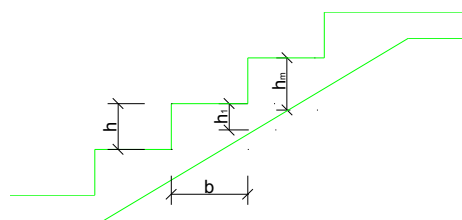
Tabela 5.91: Propriedades geométricas dos elementos estruturais.

Modelo	Elemento	b	h	Area	I _x	I _y	I _z	excent.
M01	Vigas 12X50	12	50	0,06	1,00E-25	0,000072	0,00125	0
	Vigas 12x40	12	40	0,048	1,00E-25	5,76E-05	0,00064	0
M02	Vigas 12X50	12	42	0,0504	1,00E-25	6,05E-05	0,000741	-25
	Vigas 12x40	12	32	0,0384	1,00E-25	4,61E-05	0,000328	-20
M03	Vigas 12X50	12	50	0,06	1,00E-25	0,000072	0,00125	-21
	Vigas 12x40	12	40	0,048	1,00E-25	5,76E-05	0,00064	-16
Todos os modelos	Trechos rigidos	12	270	0,324	1,00E-25	0,000389	0,19683	0
	Paredes do nucleo rigido	14	270	0,378	1,00E-25	0,000617	0,229635	0
	Pilares 20X75	20	75	0,15	1,00E-25	0,0005	0,007031	0
	Pilares 20X100	20	100	0,2	1,00E-25	0,000667	0,016667	0
	Pilares 25x125	25	125	0,3125	1,00E-25	0,001628	0,04069	0
	Pilar do nucleo rigido 190X14	14	190	0,266	1,00E-25	0,000434	0,080022	0
	Pilar nucleo rigido 180X14	14	180	0,252	1,00E-25	0,000412	0,06804	0

A escada foi admitida como uma carga linear com valor igual à sua reação de apoio num trecho da viga 08. Os dados para o calculo dessa reação, bem como o seu valor, podem ser vistos na Tabela 5.92.

Tabela 5.92: Calculo da reação de apoio das escadas dados geométricos da escada.

h=	0,17 m	h _m =	0,19 m
b=	0,29 m	h ₁ =	0,29 m
P. Paredes =	133,02 kN/m ²		
Comp. Parede=	17,25 m		
Carga acid. =	3,50 kN/m ²		
P. P. Escada=	6,54 kN/m ²		
Area Proj. Horiz.=	11,86 m ²		
Carga total=	252,10 kN		
Nº Apoios=	2		
Reação tot.=	126,05 kN		



5.3.3 Resultados

São apresentados desenhos do pavimento com escala de cores referente aos deslocamentos e esforços. Foram selecionadas as vigas 05, 11 e 34 e os centros das lajes já citadas para uma visualização mais detalhada dos resultados.

5.3.4 Deslocamentos

São apresentados os deslocamentos nos modelos do pavimento real. Todas as figuras têm a mesma escala de cor para facilitar a visualização nas diferenças de deslocamentos entre o modelo concêntrico e excêntrico.

De um modo geral pode-se notar que todos os deslocamentos no pavimento foram menores nos modelos excêntricos. Enquanto no modelo concêntrico houve picos onde o deslocamento chegou a 0,02m, nos modelos excêntricos os deslocamentos chegaram ao máximo de 0,015m.

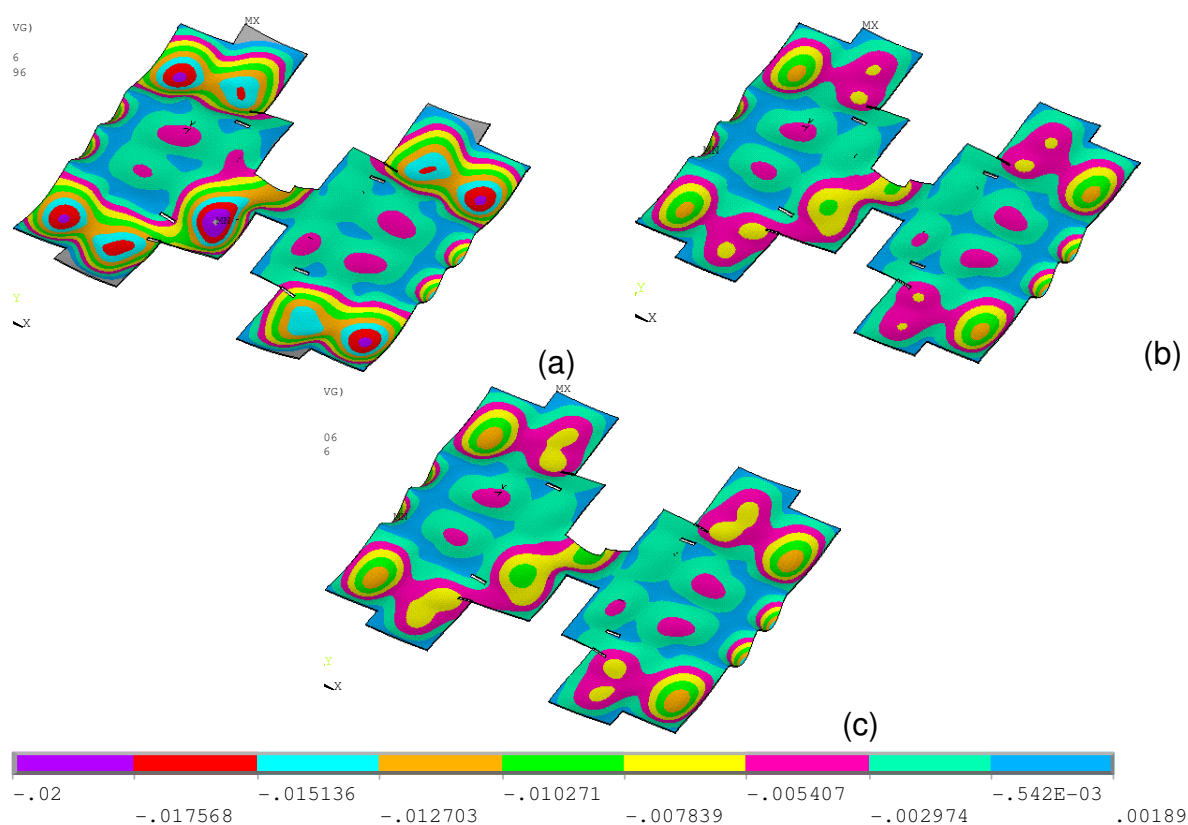


Figura 5.20: Diagrama de Deslocamentos verticais no pavimento (m).

Na Figura 5.20 são apresentados desenhos esquemáticos dos deslocamentos no modelo de pavimento real. O desenho (a) é o modelo concêntrico e os (b) e (c) são os excêntricos.

Tabela 5.93: Deslocamentos verticais no centro das lajes de um apartamento (m).

Laje	Uz			Erro de M01 em relação a	
	M01	M02	M03	M02	M03
L01	-1,04E-02	-5,59E-03	-5,87E-03	86,03%	77,04%
L03	-1,78E-02	-1,11E-02	-1,19E-02	61,16%	49,83%
L05	-1,02E-02	-2,60E-03	-3,11E-03	292,54%	228,73%
L06	-1,31E-02	-5,83E-03	-6,53E-03	124,84%	100,52%
L09	-8,85E-04	-7,41E-04	-7,17E-04	19,44%	23,48%
L12	-1,47E-02	-1,45E-02	-1,46E-02	1,22%	0,76%
L13	-4,31E-03	-4,08E-03	-4,09E-03	5,68%	5,37%
L14	-3,46E-03	-2,83E-03	-2,54E-03	22,48%	36,26%
			Máximos	293%	229%

Analisando a Tabela 5.93 nota-se que os deslocamentos entre o modelos concêntrico e excêntrico são muito diferentes. Apenas nas Lajes L12 e L13 as diferenças não são apreciáveis. A diferença máxima foi de 293% entre o Modelo 02 e 229% para o Modelo 03.

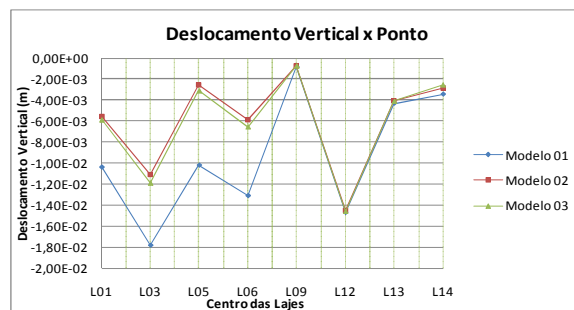


Gráfico 5.265: Deslocamentos nos centros das lajes de um apartamento (m).

Tabela 5.94: Deslocamentos na viga 05 do pavimento (m)

Pto	Uz			Erro de M01 em relação a	
	M01	M02	M03	M02	M03
Viga 05	-0,010831	-0,0030942	-0,0037458	250,04%	189,15%
	-0,011686	-0,0033589	-0,004057	247,91%	188,05%
	-0,012538	-0,0036321	-0,0043784	245,20%	186,36%
	-0,013347	-0,0038976	-0,004691	242,44%	184,52%
	-0,014069	-0,0041404	-0,0049759	239,80%	182,74%
	-0,014658	-0,0043456	-0,0052142	237,31%	181,12%
	-0,015114	-0,0045175	-0,005409	234,57%	179,42%
	-0,015302	-0,0046151	-0,0055111	231,56%	177,66%
	-0,015203	-0,0046348	-0,005516	228,02%	175,62%
	-0,014802	-0,0045737	-0,00542	223,63%	173,10%
	-0,014097	-0,0044313	-0,0052225	218,12%	169,93%
	-0,013097	-0,0042095	-0,0049261	211,13%	165,87%
	-0,011823	-0,0039131	-0,0045372	202,14%	160,58%
	-0,010309	-0,0035501	-0,0040661	190,39%	153,54%
	-0,0085988	-0,0031318	-0,0035274	174,56%	143,77%
	-0,00675	-0,0026731	-0,00294	152,52%	129,59%
	-0,0048283	-0,002194	-0,0023278	120,07%	107,42%
			Máximos	250%	189%

Na viga 05 a diferença máxima de deslocamento entre o Modelo 01 e o Modelo 02 foi de 250% e para o Modelo 03 foi de 189%.

Tabela 5.95: Deslocamentos na viga 11 do pavimento (m)

Pto	Uz			Erro de M01 em relação a	
	M01	M02	M03	M02	M03
Viga 11	-5,4849E-05	-7,5347E-05	-0,00007485	27,20%	26,72%
	-6,7204E-05	-7,9858E-05	-7,9662E-05	15,85%	15,64%
	-7,9617E-05	-8,4427E-05	-8,4531E-05	5,70%	5,81%
	-9,2149E-05	-8,9116E-05	-8,9519E-05	3,40%	2,94%
	-0,00010453	-9,3902E-05	-9,4597E-05	11,32%	10,50%
	-0,00011727	-9,8989E-05	-9,9982E-05	18,47%	17,29%
	-0,00013025	-0,00010428	-0,00010557	24,90%	23,38%
	-0,00019092	-0,00012474	-0,00012572	53,05%	51,86%
	-0,00031716	-0,00015918	-0,00016139	99,25%	96,52%
	-0,00047905	-0,00019912	-0,00020355	140,58%	135,35%
	-0,00064907	-0,00023784	-0,00024481	172,90%	165,13%
	-0,00080315	-0,00026979	-0,00027906	197,69%	187,81%
	-0,00092166	-0,00029074	-0,00030161	217,00%	205,58%
	-0,00099024	-0,00029789	-0,0003093	232,42%	220,16%
	-0,0010003	-0,00028992	-0,00030063	245,03%	232,73%
	-0,00094944	-0,00026712	-0,00027586	255,44%	244,17%
	-0,0008417	-0,00023139	-0,00023707	263,76%	255,04%
	-0,00068776	-0,00018637	-0,00018824	269,03%	265,36%
	-0,00050509	-0,00013747	-0,00013534	267,42%	273,20%
	-0,00031799	-9,2118E-05	-8,6595E-05	245,20%	267,22%
	-0,00015771	-6,0107E-05	-5,2806E-05	162,38%	198,66%
	-6,2403E-05	-5,4583E-05	-4,8267E-05	14,33%	29,29%
	-7,7274E-05	-9,6703E-05	-9,4105E-05	20,09%	17,89%
	-0,0001403	-0,00015591	-0,00015417	10,01%	9,00%
	-0,0002036	-0,0002155	-0,0002146	5,52%	5,13%
	-0,00028403	-0,00029142	-0,00029159	2,54%	2,59%
	-0,00036558	-0,00036863	-0,00036986	0,83%	1,16%
	-0,0006303	-0,00052656	-0,00052829	19,70%	19,31%
	-0,0011981	-0,00078868	-0,00079932	51,91%	49,89%
	-0,0020026	-0,0011215	-0,0011501	78,56%	74,12%
	-0,0029841	-0,0015045	-0,0015584	98,34%	91,48%
	-0,0040906	-0,001922	-0,0020072	112,83%	103,80%
-0,0052781	-0,0023617	-0,0024826	123,49%	112,60%	
-0,0065108	-0,0028138	-0,002974	131,39%	118,92%	
-0,0077616	-0,0032714	-0,0034734	137,26%	123,46%	
-0,0090115	-0,0037297	-0,0039754	141,61%	126,68%	
-0,01025	-0,004186	-0,0044765	144,86%	128,97%	
	-0,004639	-0,0049747	100,00%	100,00%	
		Máximos	269%	273%	

Na viga 11 as diferenças máximas de deslocamentos foram de 269% para o Modelo 02 e 273% para o Modelo 03.

Tabela 5.96: Deslocamentos na viga 34 do pavimento (m)

Pto	Uz			Erro de M01 em relação a	
	M01	M02	M03	M02	M03
	-0,004329	-0,0024354	-0,0024339	77,75%	77,86%
	-0,0061602	-0,0030193	-0,0030904	104,03%	99,33%
	-0,0079607	-0,0035941	-0,0037367	121,49%	113,04%
	-0,0097015	-0,0041488	-0,0043615	133,84%	122,43%
	-0,011356	-0,0046756	-0,0049561	142,88%	129,13%
	-0,0129	-0,0051684	-0,005513	149,59%	133,99%
	-0,014311	-0,0056213	-0,0060246	154,59%	137,54%
	-0,015721	-0,0060791	-0,0065415	158,61%	140,33%
	-0,016919	-0,0064739	-0,0069866	161,34%	142,16%
	-0,017894	-0,0068016	-0,0073555	163,09%	143,27%
	-0,018638	-0,0070583	-0,007644	164,06%	143,83%
	-0,019146	-0,0072409	-0,0078489	164,41%	143,93%
	-0,019417	-0,0073476	-0,0079684	164,26%	143,68%
	-0,019454	-0,0073779	-0,0080021	163,68%	143,11%
	-0,019265	-0,0073323	-0,0079506	162,74%	142,31%
	-0,018862	-0,0072124	-0,0078164	161,52%	141,31%
	-0,018259	-0,007021	-0,0076026	160,06%	140,17%
	-0,017474	-0,0067615	-0,0073138	158,43%	138,92%
	-0,016523	-0,0064384	-0,0069554	156,63%	137,56%
	-0,015427	-0,0060572	-0,0065338	154,69%	136,11%
	-0,014206	-0,0056246	-0,0060568	152,57%	134,55%
	-0,012881	-0,0051486	-0,0055335	150,18%	132,78%
	-0,011475	-0,004639	-0,0049747	147,36%	130,67%
	-0,010004	-0,0041033	-0,004388	143,80%	127,99%
	-0,0085051	-0,0035487	-0,003783	139,67%	124,82%
	-0,0070088	-0,0029818	-0,0031677	135,05%	121,26%
	-0,0055518	0,00	-0,0025537	130,17%	117,40%
	-0,0041776	-0,0018523	-0,0019568	125,54%	113,49%
	-0,0029196	-0,0013195	-0,0013958	121,27%	109,17%
	-0,001871	-0,00087974	-0,00093266	112,68%	100,61%
	-0,001043	-0,00055354	-0,0005811	88,42%	79,49%
	-0,00021581	-0,00022818	-0,00023041	5,42%	6,34%
	0,00043407	0,00002701	0,000044663	1507,07%	871,88%
	0,0010834	0,00028159	0,00031911	284,74%	239,51%
	0,0017623	0,00051918	0,00058653	239,44%	200,46%
	0,0021511	0,00061779	0,00071125	248,19%	202,44%
	0,0023012	0,0006229	0,00073305	269,43%	213,92%
	0,0022602	0,00056302	0,00068048	301,44%	232,15%
	0,0020723	0,00046012	0,00057688	350,38%	259,23%
	0,0017791	0,00033537	0,00044413	430,49%	300,58%
	0,00144	0,00021569	0,0003096	567,62%	365,12%
	0,0010565	0,000093282	0,00016838	1032,59%	527,45%
	0,00064119	-3,3401E-05	0,000020869	2019,67%	2972,45%
	0,00020494	-0,00016369	-0,00013124	225,20%	256,16%
	-0,00024344	-0,00029581	-0,00028571	17,70%	14,79%
	-0,00069702	-0,00042759	-0,00044039	63,01%	58,27%
			Máximos	2020%	2972%

Na viga 34 obtiveram-se picos de diferenças de 2020% na região de apoio nos modelos excêntricos. Mas as diferenças globais chegaram ficaram em torno de 160% para o Modelo 02 e 140% para o Modelo 03.

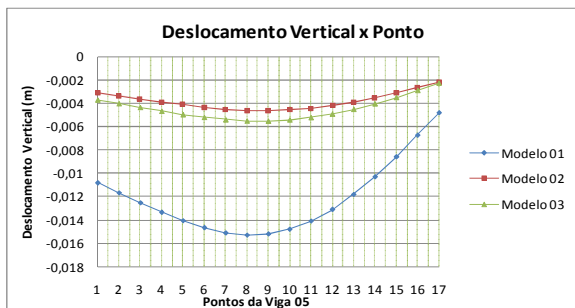


Gráfico 5.266: Deslocamentos na viga 05 do pavimento (m)

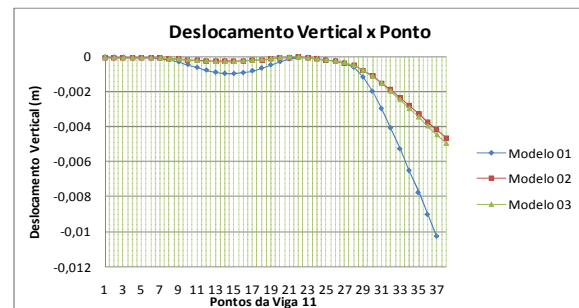


Gráfico 5.267: Deslocamentos na viga 11 do pavimento (m)

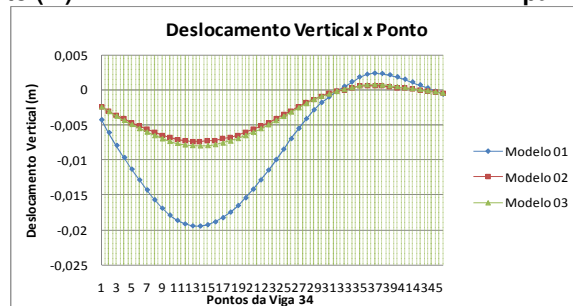


Gráfico 5.268: Deslocamentos na viga 34 do pavimento (m)

Pelos gráficos fica visível a diferença de deslocamentos entre os modelos excêntricos e o concêntrico. Inclusive numa região de apoio de viga sobre viga, como mostrado no ponto trinta e sete do Gráfico 5.267.

Analisando os deslocamentos da viga 05 com os critérios da Norma Brasileira de NBR 6118/2003, ela não passaria. Porém considerando a excentricidade ela passaria em deslocamentos com folga.

5.3.5 Esforços Axiais nos elementos lineares

Como no exemplo anterior, neste também percebe-se que os modelos excêntricos desenvolvem esforços axiais consideráveis nas vigas. Isso pode ser visto na Figura 5.21.

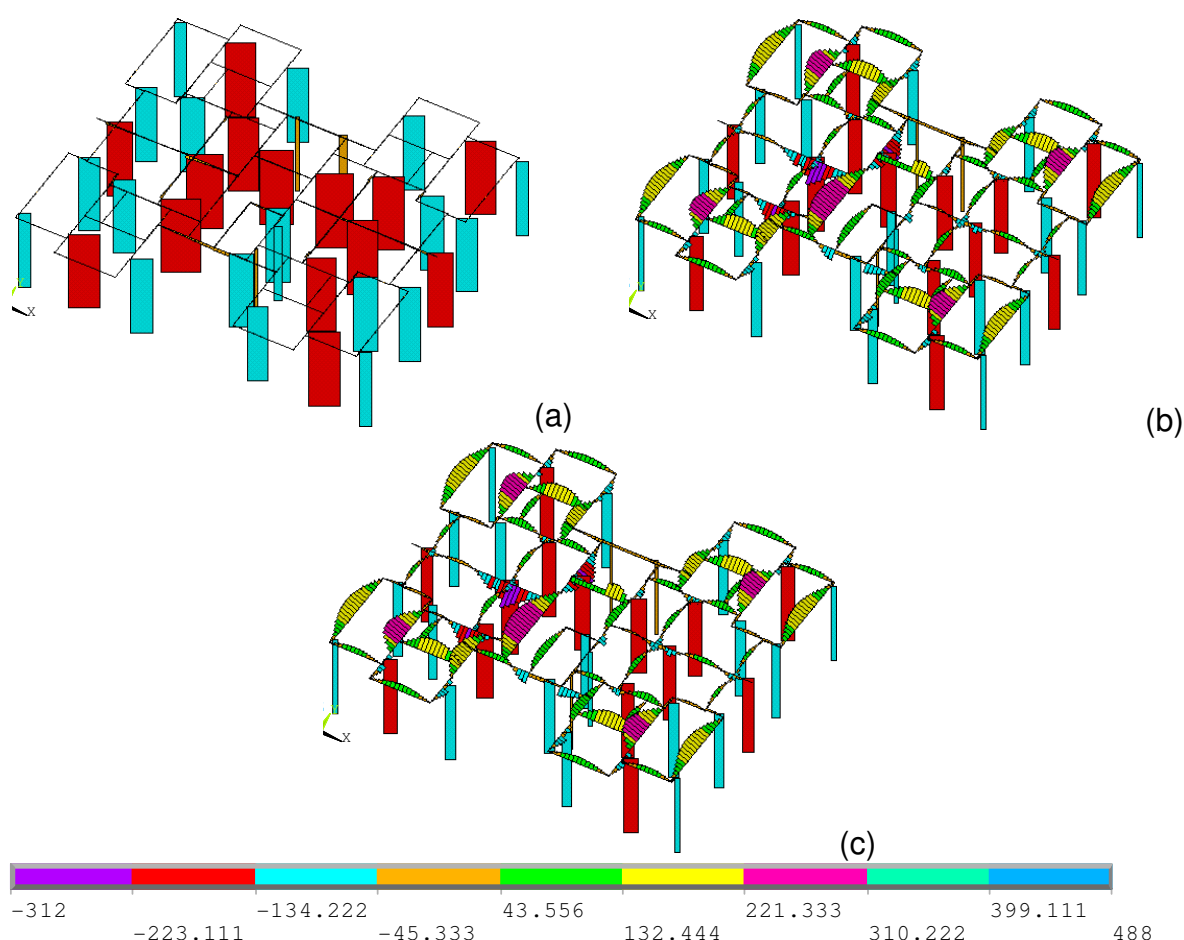


Figura 5.21: Distribuição dos esforços axiais pelo pavimento (kN).

Nestes desenhos é possível perceber que os esforços axiais nas vigas ficam mais perceptíveis quando da consideração da excentricidade. Os esforços axiais dos pilares permanecem os mesmos. As vigas nos modelos excêntricos apresentam esforços axiais muito pronunciados, portanto na análise de solicitações devem-se comparar níveis de tensões e não somente esforços isolados.

Nas Tabela 5.97 até Tabela 5.99 e nos Gráfico 5.269 até o Gráfico 5.271 são apresentados os valores e diagramas das forças axiais atuantes do pavimento.

Tabela 5.97: Esforços axiais na viga 05 do pavimento (kN)

		Esforços Axiais		
Pto		M01	M02	M03
Viga 05		-0,064485	-6,1061	9,6394
		-0,09587	26,383	41,536
		-0,12371	60,928	77,67
		-0,14812	95,512	115,14
		-0,16539	128,14	150,77
		-0,18373	155,01	179,74
		-0,19605	171,26	198,49
		-0,19546	180,87	209,43
		-0,18418	183,9	212,65
		-0,16368	179,93	207,73
		-0,13601	168,74	194,47
		-0,10454	150,5	173,12
		-0,074341	125,84	144,47
		-0,050369	95,93	109,98
		-0,035906	62,483	71,673
	-0,029059	29,137	33,122	

Tabela 5.98: Esforços axiais na viga 11 do pavimento (kN)

Pto	Esforços Axiais		
	M01	M02	M03
Viga 11	0,47669	-0,69706	-0,70528
	1,0765	-1,7156	-1,6963
	1,8786	-3,0563	-2,9885
	-9,6629	-16,649	-16,665
	-8,7986	-20,32	-20,202
	-7,9958	-27,455	-26,966
	4,8491	-124,12	-122,87
	6,4457	-128,3	-128,17
	-17,474	-172,6	-173,7
	-15,149	-213,64	-215,19
	-5,4081	-46,653	-46,497
	-4,7014	-27,65	-28,471
	-4,1123	-8,9861	-10,026
	-3,6189	7,6492	6,6509
	-3,1876	21,082	20,214
	-2,7932	30,521	29,796
	-2,4164	35,375	34,758
	-2,0434	35,243	34,671
	-1,6603	29,839	29,223
	-1,255	18,995	18,254
	-0,81383	2,6091	1,6866
	-0,31922	-19,327	-20,429
	0,25297	-46,631	-47,752
	0,94185	-79,013	-79,751
	1,817	-115,37	-114,65
	3,0205	-151,35	-146,59
	-11,376	-312,02	-310,61
	-9,719	-272,13	-278,77
	-8,5391	-225,82	-235,78
	-7,6249	-181,32	-192,46
	-6,8674	-141,14	-152,5
	-6,2089	-106,19	-117,23
	-5,6107	-76,845	-87,182
	-5,0401	-53,001	-62,293
	-4,462	-34,187	-42,1
	-3,829	-19,65	-25,906
	-3,1006	-8,6035	-13,061

Tabela 5.99: Esforços axiais na viga 34 do pavimento (kN)

Pto	Esforços Axiais		
	M01	M02	M03
Viga 34	1,2911	-86,594	-75,934
	1,3174	-96,86	-88,717
	1,7783	-116,4	-107,96
	1,8507	-146,11	-135,17
	1,7069	-102,93	-99,576
	1,4077	-134,61	-119,05
	0,36382	22,139	24,647
	0,35323	56,242	60,475
	0,31052	92,042	98,768
	0,28335	126,7	136,38
	0,28283	159,31	172
	0,31648	189,38	204,51
	0,43103	216,35	233,05
	0,4874	238,37	256,8
	0,59536	256,62	275,77
	0,72786	270,93	290,26
	0,87688	280,94	300,05
	1,0407	286,41	304,98
	1,218	287,28	304,97
	1,4056	283,68	300,16
	1,5983	275,87	290,86
	1,7857	264,22	277,47
	1,9557	249,1	260,48
	2,1006	230,72	240,2
	2,2168	209,12	216,78
	2,3046	184,35	190,37
	2,3684	156,61	161,3
	2,4346	126,87	130,8
	2,4054	90,292	89,917
	2,2219	59,45	56,717
	2,0776	24,176	19,476
	1,9524	-16,105	-21,897
	1,8575	-60,996	-65,49
	1,8234	-228,63	-208,1
1,8016	-207,11	-196,5	
1,7232	-175,07	-171,77	
1,6204	-140,73	-142,54	
1,5069	-107,49	-113,39	
1,3851	-77,739	-87,674	
1,2194	-56,421	-65,751	
1,041	-38,619	-45,311	
0,84512	-25,227	-30,023	
0,61913	-15,172	-18,641	
0,33266	-8,2478	-10,675	
0,018325	-3,7749	-4,9241	

Nota-se em todas as tabelas que os esforços axiais, que quase não existem no modelo concêntrico, passam a ser consideráveis nos modelos excêntricos.

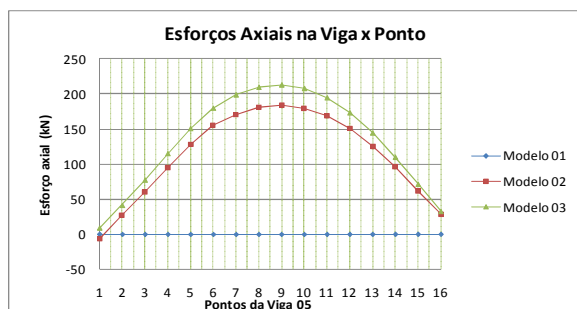


Gráfico 5.269: Esforços axiais na viga 05 do pavimento (kN)

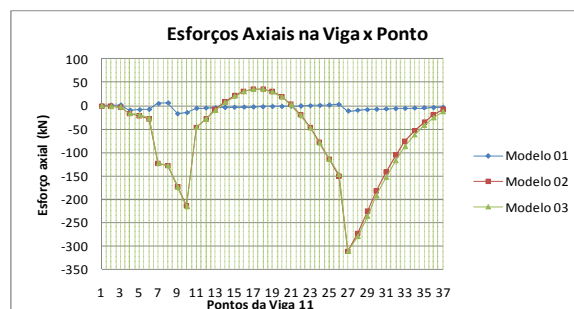


Gráfico 5.270: Esforços axiais na viga 11 do pavimento (kN)

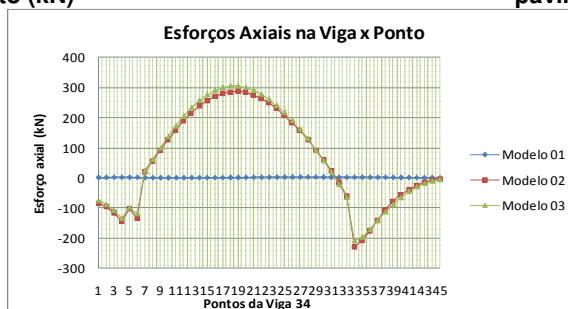


Gráfico 5.271: Esforços axiais na viga 34 do pavimento (kN)

5.3.6 Diagramas de esforços cortantes nas vigas

O cisalhamento, como também mostrado no exemplo anterior, não apresenta grandes diferenças em nenhum modelo. A Figura 5.22 apresenta gráficos de contorno na mesma escala para os três modelos onde pode se notar esse comportamento.

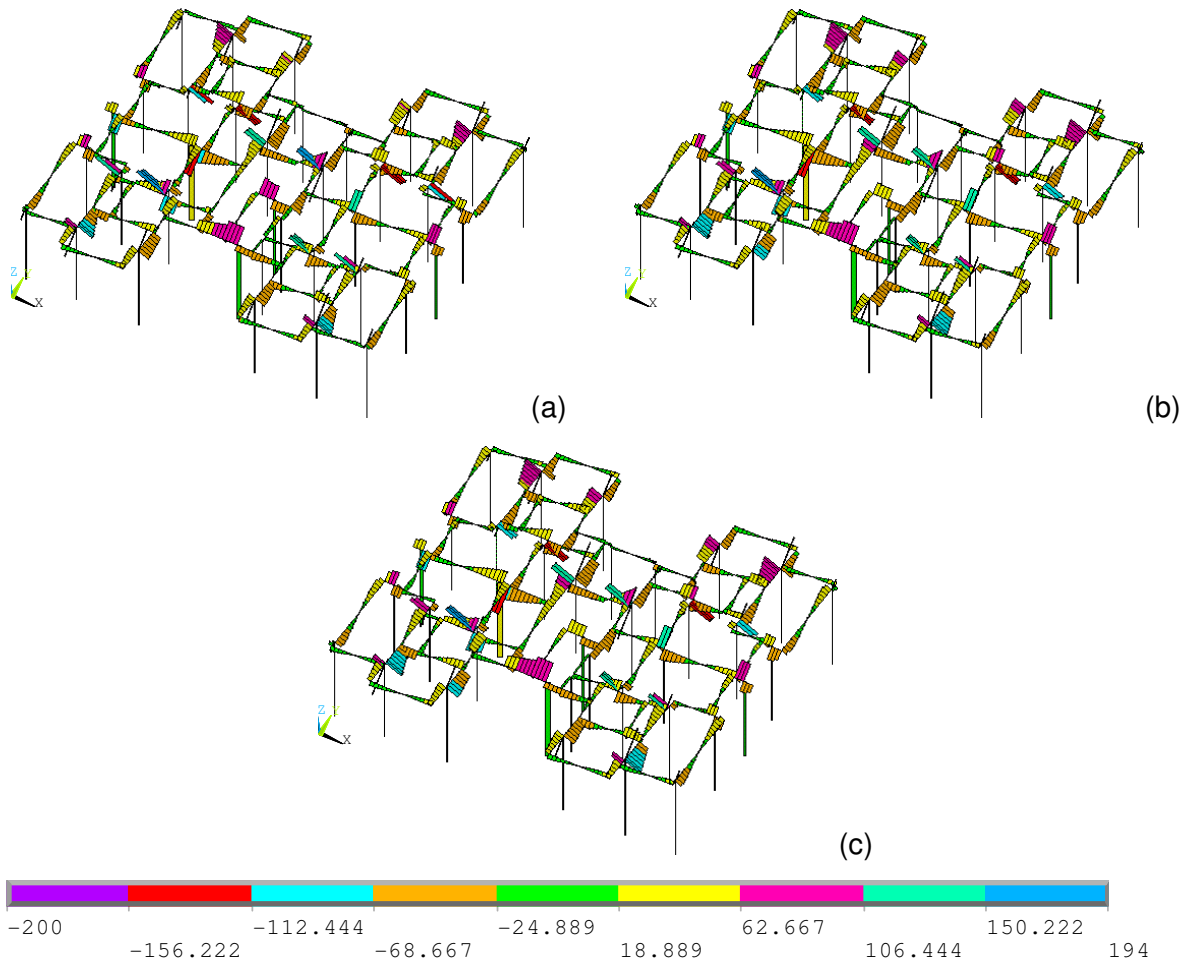


Figura 5.22: Distribuição de cisalhamento pelo pavimento (kN).

5.3.7 Diagramas de momento fletor nas vigas

Os dados obtidos nesta seção são referentes aos momentos fletores nas vigas.

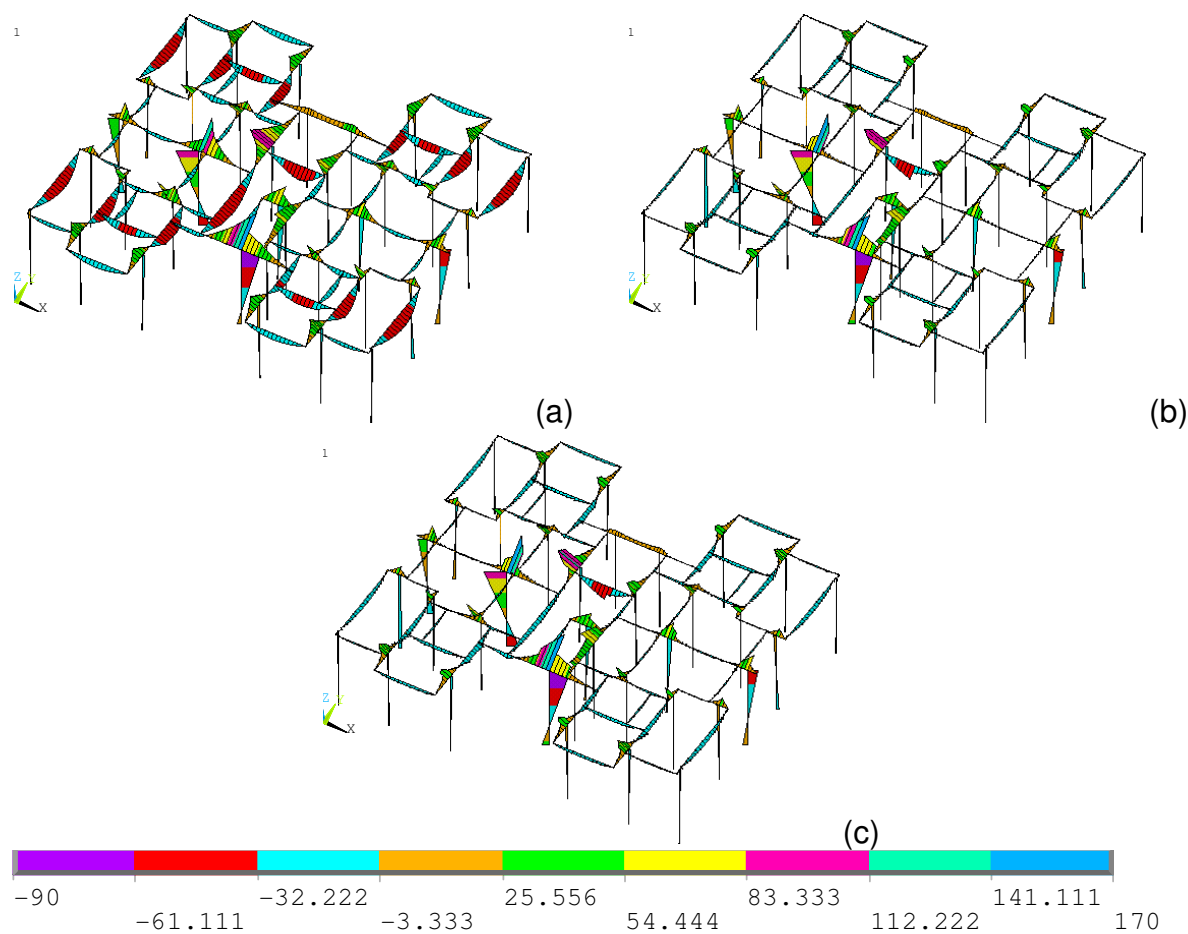


Figura 5.23: Distribuição dos momentos fletores nos elementos lineares do pavimento (kNm).

Nas figuras acima fica evidente a redução dos momentos fletores. Porém essa redução acarreta em esforços axiais nos modelos excêntricos que são muito reduzidos no modelo concêntrico. As tabelas abaixo mostram as diferenças entre os momentos fletores dos modelos excêntricos e concêntricos.

Na seqüência, é apresentado a Tabela 5.100 até Tabela 5.102 e do Gráfico 5.272 ao Gráfico 5.274 com os momentos fletores nas vigas.

Tabela 5.100: Momento fletor na viga 05 do pavimento (kNxm)

Pto	Momento Fletor			Erro de M01 em relação a	
	M01	M02	M03	M02	M03
Viga 05	-3,6289	-7,3655	-6,8234	50,73%	46,82%
	0,37072	-4,6896	-4,3406	107,91%	108,54%
	6,627	-2,1853	-1,5336	403,25%	532,12%
	13,818	0,29791	1,4326	4538,31%	864,54%
	21,348	2,9586	4,6526	621,56%	358,84%
	29,547	6,8664	8,9019	330,31%	231,92%
	32,201	7,7167	9,8098	317,29%	228,25%
	34,792	8,8528	11,041	293,01%	215,12%
	36,447	9,8892	12,121	268,55%	200,69%
	36,816	10,68	12,87	244,72%	186,06%
	35,75	11,149	13,205	220,66%	170,73%
	33,197	11,237	13,062	195,43%	154,15%
	29,162	10,872	12,371	168,23%	135,73%
	23,694	9,9571	11,044	137,96%	114,54%
	16,879	8,389	8,9939	101,20%	87,67%
	8,8553	5,8173	6,0294	52,22%	46,87%
		Máximos	4538%	865%	

Na viga 05 houve picos de diferenças de mais de 4000% para o Modelo 02 e de mais de 800% para o Modelo 03 nas regiões de apoio das vigas. No geral o Modelo 02 apresentou diferenças em volta de 250% e 300% enquanto que o Modelo 03 apresentou diferenças em volta de 150% e 200%.

Tabela 5.101: Momento fletor na viga 11 do pavimento (kNm)

Pto	Momento Fletor			Erro de M01 em relação a	
	M01	M02	M03	M02	M03
Viga 11	-0,54143	-0,55657	-0,5536	2,72%	2,20%
	-7,88	-7,9197	-7,9226	0,50%	0,54%
	-17,339	-17,339	-17,36	0,00%	0,12%
	-71,713	-62,659	-63,404	14,45%	13,10%
	-55,446	-47,026	-47,701	17,90%	16,24%
	-38,847	-30,999	-31,611	25,32%	22,89%
	-36,379	-52,91	-51,855	31,24%	29,84%
	-45,629	-63,262	-62,126	27,87%	26,55%
	-149,73	-169	-169,13	11,40%	11,47%
	-118,1	-136,44	-136,66	13,44%	13,58%
	-21,774	-5,628	-7,7471	286,89%	181,06%
	-14,629	-4,198	-5,3451	248,48%	173,69%
	-7,9139	-2,9906	-3,3259	164,63%	137,95%
	-1,7231	-1,7954	-1,4396	4,03%	19,69%
	3,6935	-0,62529	0,29071	690,69%	1170,51%
	8,103	0,45998	1,7872	1661,60%	353,39%
	11,333	1,4202	2,9944	697,99%	278,47%
	13,261	2,2228	3,8676	496,59%	242,87%
	13,807	2,849	4,3803	384,63%	215,21%
	12,91	3,2764	4,5002	294,03%	186,88%
	10,528	3,487	4,1999	201,92%	150,67%
	6,6311	3,457	3,4417	91,82%	92,67%
	1,2005	3,1359	2,1481	61,72%	44,11%
	-5,7795	2,4588	0,21391	335,05%	2801,84%
	-14,303	1,1997	-2,6861	1292,21%	432,48%
	-24,381	-1,651	-7,7183	1376,74%	215,89%
	-85,319	-25,194	-38,509	238,65%	121,56%
	-68,648	-18,851	-28,769	264,16%	138,62%
	-53,526	-15,096	-22,435	254,57%	138,58%
	-39,98	-12,068	-17,397	231,29%	129,81%
	-28,136	-9,4057	-13,122	199,14%	114,42%
	-18,12	-7,0745	-9,5102	156,13%	90,53%
-10,013	-5,0871	-6,5398	96,83%	53,11%	
-3,8389	-3,4715	-4,2116	10,58%	8,85%	
0,43404	-2,251	-2,5125	119,28%	117,28%	
2,867	-1,4208	-1,384	301,79%	307,15%	
3,4951	-0,86447	-0,64703	504,31%	640,18%	
		Máximos	1662%	2802%	

Na viga 11 também surgiram picos de diferenças próximos aos apoios, mas no geral existiram diferenças de 200% para o Modelo 02 e 240% para o Modelo 03.

Tabela 5.102: Momento fletor na viga 34 do pavimento (kNxm)

Pto	Momento Fletor			Erro de M01 em relação a	
	M01	M02	M03	M02	M03
Viga 34	-59,188	-59,05	-61,717	0,23%	4,10%
	-85,094	-86,406	-89,864	1,52%	5,31%
	-110,2	-113,31	-117,41	2,74%	6,14%
	-98,892	-101,61	-105,46	2,67%	6,23%
	-30,085	0,69234	-6,2321	4445,41%	382,74%
	-44,615	-7,5566	-18,535	490,41%	140,71%
	-0,045486	-5,072	-4,5904	99,10%	99,01%
	8,8567	-2,6689	-0,80022	431,85%	1206,78%
	17,143	-0,96378	2,1933	1878,73%	681,61%
	24,727	0,48665	4,7937	4981,06%	415,82%
	31,674	1,7849	7,1574	1674,55%	342,53%
	38,209	3,0812	9,5535	1140,07%	299,95%
	45,092	4,8524	12,341	829,27%	265,38%
	47,326	5,6792	13,616	733,32%	247,58%
	49,775	6,729	15,143	639,71%	228,70%
	51,693	7,7696	16,577	565,32%	211,84%
	52,807	8,7144	17,789	505,97%	196,85%
	52,995	9,5206	18,718	456,64%	183,12%
	52,205	10,165	19,337	413,58%	169,97%
	50,461	10,635	19,631	374,48%	157,05%
	47,859	10,922	19,597	338,19%	144,22%
	44,576	11,036	19,257	303,91%	131,48%
	40,821	10,988	18,632	271,51%	119,09%
	36,777	10,798	17,757	240,59%	107,11%
	32,519	10,478	16,643	210,36%	95,39%
	28,008	9,9924	15,24	180,29%	83,78%
	23,151	9,27	13,461	149,68%	71,99%
	17,941	8,1541	11,13	120,02%	61,19%
	12,861	6,4432	8,4298	99,61%	52,57%
	6,3675	6,4942	7,7419	1,95%	17,75%
	-0,46032	6,1999	6,3712	107,42%	107,23%
	-8,3878	5,6285	4,3121	249,02%	294,52%
	-17,881	4,544	1,0463	493,51%	1808,97%
	-87,255	-32,598	-49,7	167,67%	75,56%
	-73,206	-23,364	-37,142	213,33%	97,10%
	-60,239	-17,887	-28,491	236,78%	111,43%
-48,218	-13,925	-21,764	246,27%	121,55%	
-37,042	-10,516	-15,881	252,24%	133,25%	
-26,595	-6,9453	-10,026	282,92%	165,26%	
-16,666	-2,3443	-4,111	610,92%	305,40%	
-12,654	-2,6266	-4,003	381,76%	216,11%	
-9,0492	-2,3312	-3,3426	288,18%	170,72%	
-5,9536	-1,7954	-2,4429	231,60%	143,71%	
-3,4146	-1,1079	-1,4441	208,20%	136,45%	
-1,4403	-0,43892	-0,6031	228,15%	138,82%	
		Máximos	4981%	1809%	

Na viga 34 apesar dos picos de diferenças, houve diferenças entre 300% e 500% para o Modelo 02 e 160% e 300% para o Modelo 03.

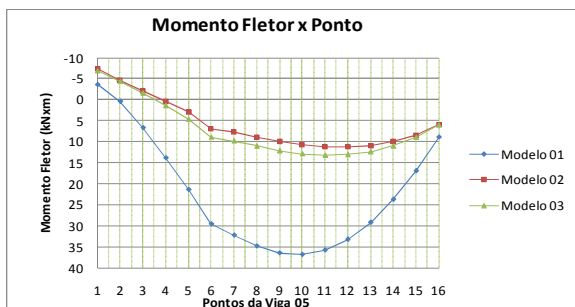


Gráfico 5.272: Momento fletor na viga 05 do pavimento (kNm)

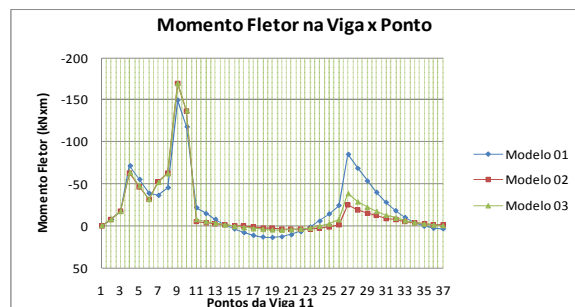


Gráfico 5.273: Momento fletor na viga 11 do pavimento (kNm)

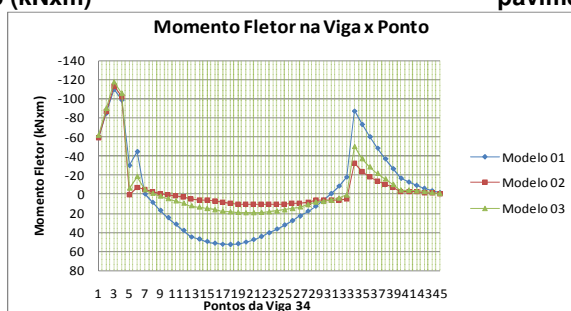


Gráfico 5.274: Momento fletor na viga 34 do pavimento (kNm)

Através dos gráficos, nota-se que os momentos negativos não apresentam grandes diferenças quanto os momentos positivos. No geral, as diferenças de momentos parecem não ser muito pronunciadas nas regiões mais rígidas.

5.3.8 Esforços normais na direção X das lajes

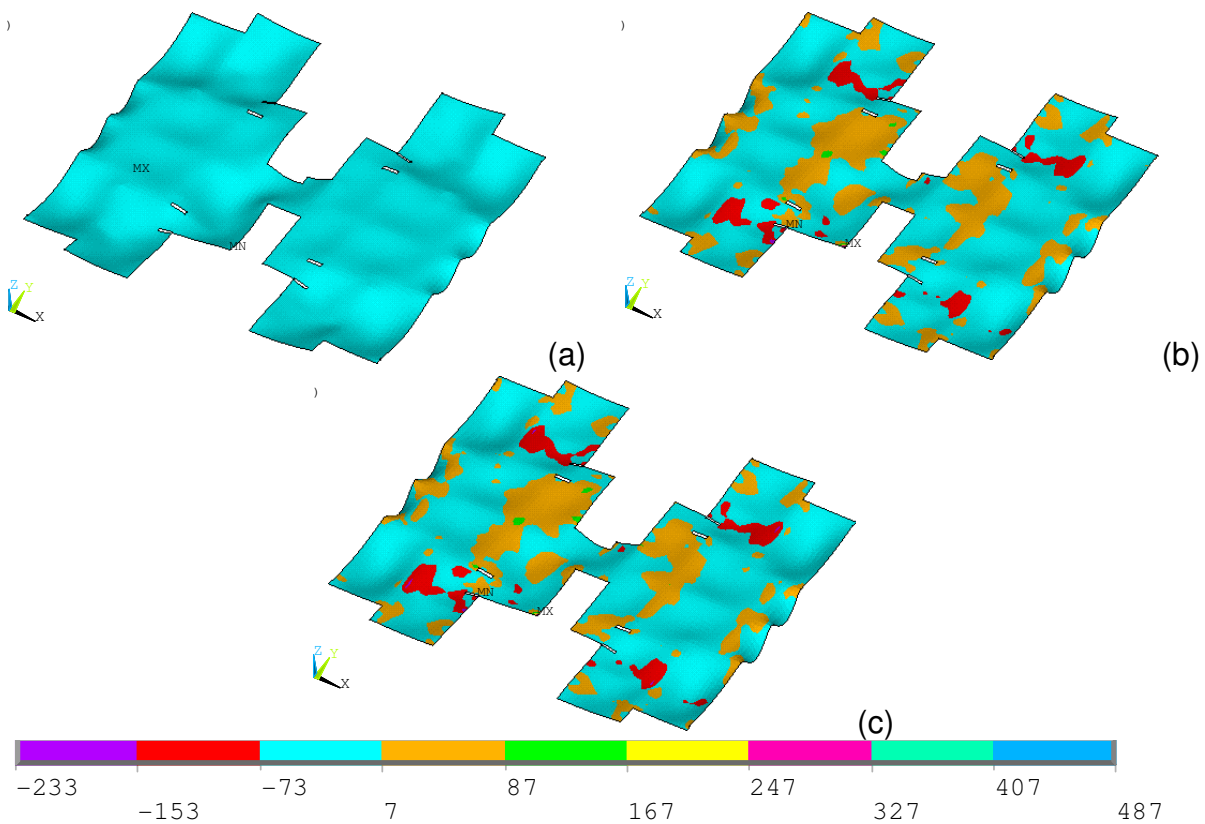


Figura 5.24: Diagramas de esforços normais nas vigas.

Os esquemas mostram que os esforços axiais ficam mais pronunciados quando se considera a excentricidade entre a laje do pavimento e as vigas.

A Tabela 5.103 e o Gráfico 5.275 apresentam os valores e o diagrama esforços axiais na direção X no centro das lajes de um apartamento do modelo.

Tabela 5.103: Esforços axiais na direção X na capa acima da viga 05 do pavimento (kN/m)

Laje	Força Axial na direção X da Laje		
	M01	M02	M03
L01	-0,17505	-32,318	-34,049
L03	-0,48213	-53,744	-54,87
L05	-0,67018	-95,177	-108,64
L06	-0,44379	-79,37	-80,694
L09	-0,23616	-15,929	-13,89
L12	4,93E-02	1,6188	1,6191
L13	1,6649	-11,49	-11,497
L14	-0,52844	43,636	42,852

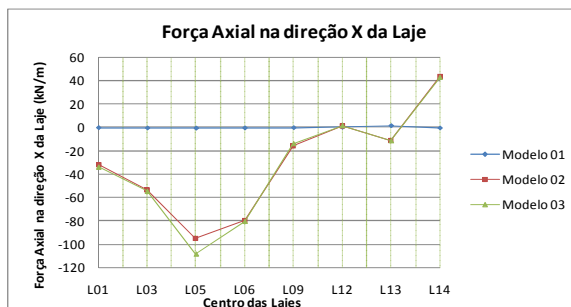


Gráfico 5.275: Esforços axiais na direção X na capa a do pavimento (kN/m)

5.3.9 Esforços normais na direção Y das lajes

O comportamento na direção X da casca em relação aos esforços axiais, repetiu-se na direção Y. Fica evidente que não se devem comparar somente os esforços isolados dos elementos estruturais, devem-se comparar também os níveis de tensões.

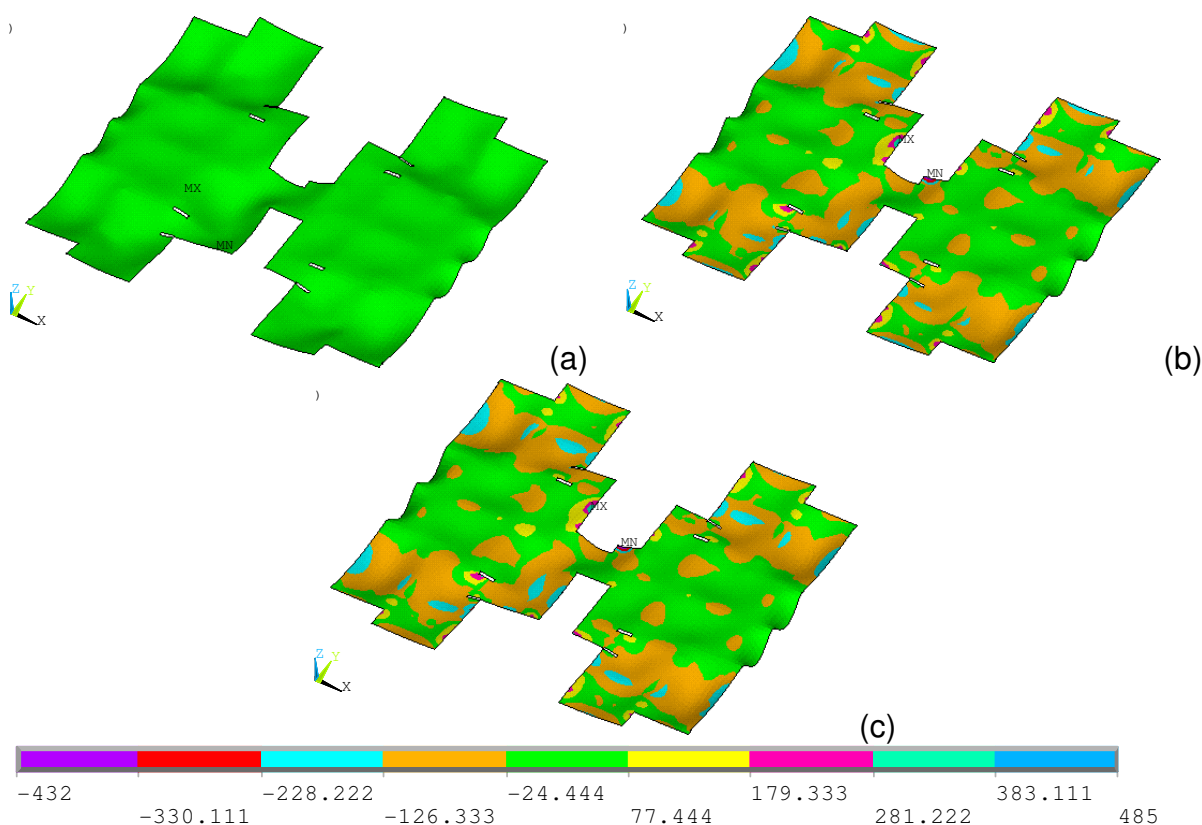
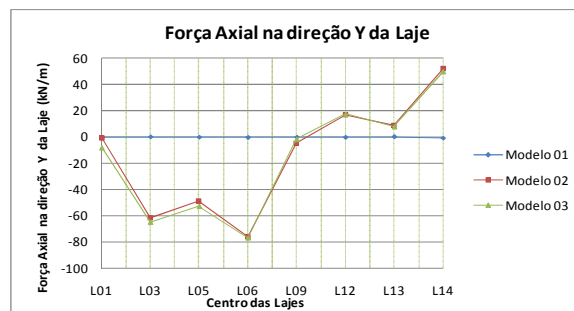


Figura 5.25: Diagramas de esforços axiais na direção Y do pavimento.

Tabela 5.104: Esforços axiais na direção Y na capa do pavimento (kN/m)

Laje	Força Axial na direção Y da Laje		
	M01	M02	M03
L01	-0,5612	-1,3472	-8,4218
L03	4,25E-02	-61,463	-64,738
L05	-0,34048	-48,759	-52,785
L06	-0,44097	-75,967	-76,643
L09	-0,33777	-5,1473	-2,1712
L12	-0,43214	16,812	17,027
L13	0,14324	8,4088	7,4767
L14	-1,1107	51,425	49,357

**Gráfico 5.276: Esforços axiais na direção Y na capa do pavimento (kNxm/m)**

5.3.10 Momentos Mx nas lajes

São apresentados os momentos fletores na direção X global do pavimento.

Numa visão geral nota-se pouca diferença nos valores dos momentos fletores do pavimento, como pode ser visto na Tabela 5.105 e no Gráfico 5.277.

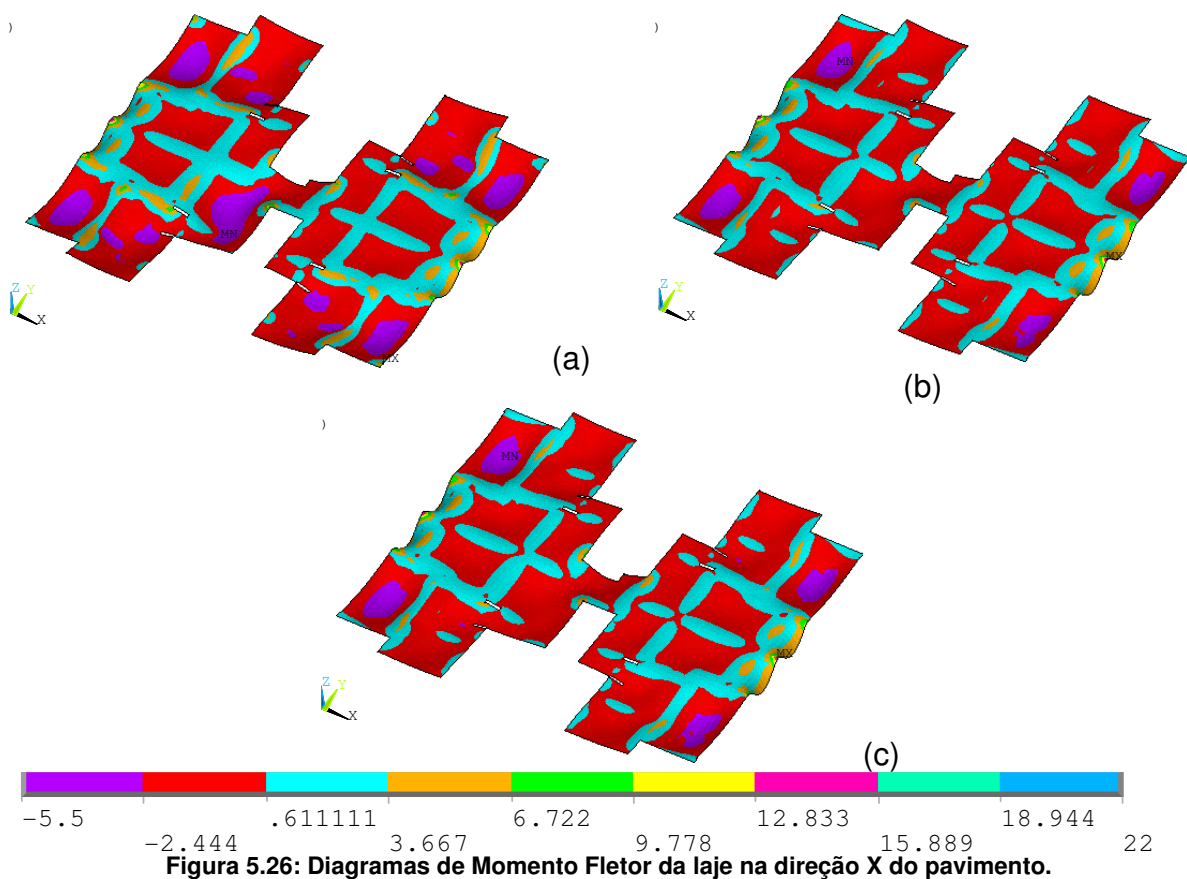


Figura 5.26: Diagramas de Momento Fletor da laje na direção X do pavimento.

Tabela 5.105: Momento fletor na direção X na capa do pavimento (kNm/m)

Laje	Momento Fletor na direção X da Laje			Erro de M01 em relação a	
	M01	M02	M03	M02	M03
L01	1,922	1,5272	1,5465	25,85%	24,28%
L03	3,585	3,2088	3,3382	11,72%	7,39%
L05	0,77129	-0,23066	-0,22171	434,38%	447,88%
L06	3,2036	2,3024	2,4397	39,14%	31,31%
L09	0,22911	0,21935	0,1758	4,45%	30,32%
L12	-4,2841	-4,42	-4,4062	3,07%	2,77%
L13	1,6422	1,641	1,6464	0,07%	0,26%
L14	0,77988	1,0556	0,88824	26,12%	12,20%
			Máximos	434%	448%

As diferenças nos esforços de momento fletor nos centros das lajes do pavimento são consideráveis, apesar do pico de 434% no Modelo 02 e 448% para o Modelo 03, os pontos onde houve diferença elas foram em torno de 20% a 40%.

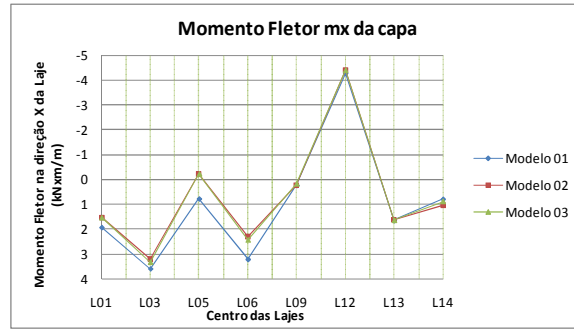


Gráfico 5.277: Momento fletor na direção X na capa pavimento (kN/m)

O gráfico mostra que as diferenças começam a não ficar tão pronunciadas como no modelo anterior, mas mesmo assim os modelos excêntrico mostram valores reduzidos de momento fletor.

5.3.11 Momentos My nas lajes

Serão apresentados os momentos fletores na direção Y global do pavimento.

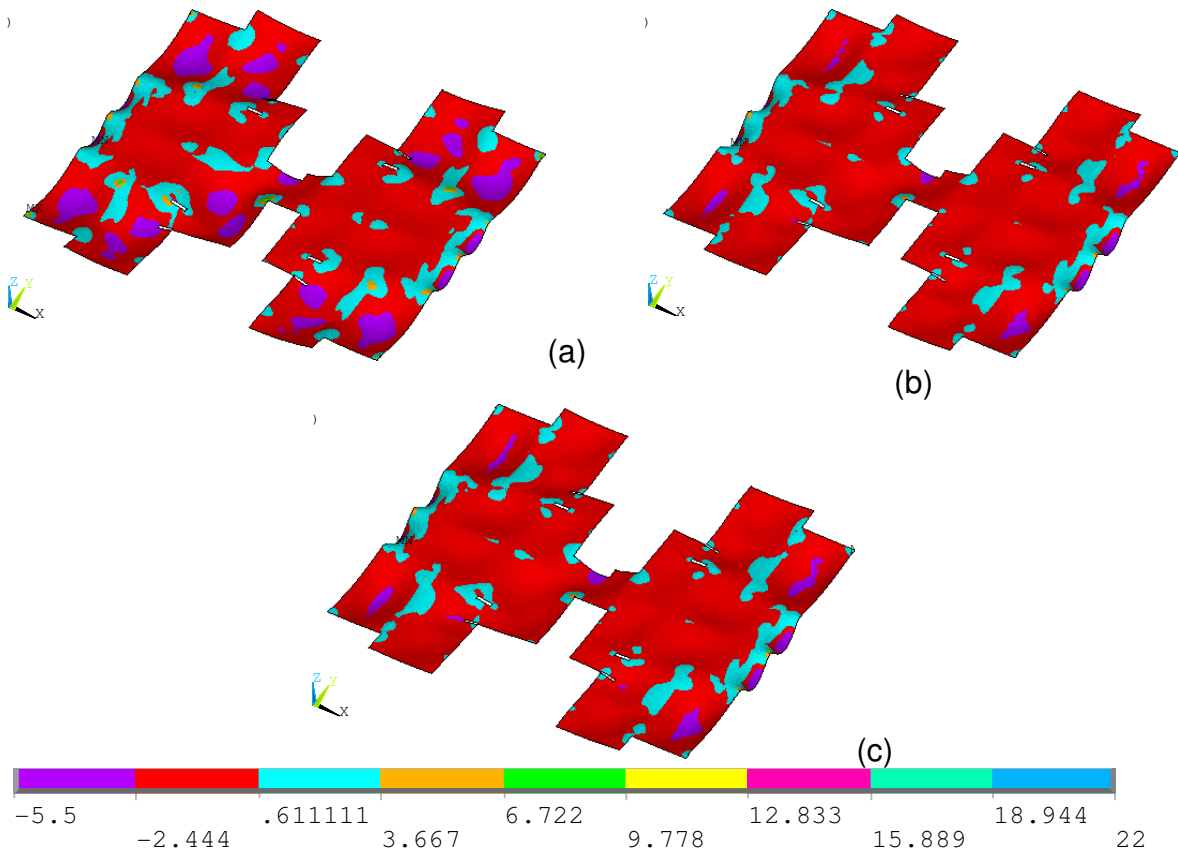


Figura 5.27: Digramas de momento fletor da laje na direção Y do pavimento (kNxm/m).

Os esforços de flexão máximos na direção Y da capa do pavimento são próximos nos três modelos, porém é visível a redução numa análise geral do pavimento.

Tabela 5.106: Momento fletor na direção Y na capa do pavimento (kNm/m)

Laje	Momento Fletor na direção Y da Laje			Erro de M01 em relação a	
	M01	M02	M03	M02	M03
L01	2,8017	1,7836	1,8429	57,08%	52,03%
L03	3,2936	2,6573	2,7874	23,95%	18,16%
L05	-1,1019	-1,1402	-1,4893	3,36%	26,01%
L06	3,1769	2,3163	2,4478	37,15%	29,79%
L09	6,54E-02	0,17437	0,10359	62,52%	36,90%
L12	4,8838	4,5728	4,6178	6,80%	5,76%
L13	1,4018	1,437	1,436	2,45%	2,38%
L14	0,87991	1,0983	0,933	19,88%	5,69%
			Máximos	63%	52%

Notam-se grandes maiores diferenças nos valores dos momentos fletores na direção Y da casca. As diferenças máximas chegam a 63% para o Modelo 02 e 52% para o Modelo 03. No geral percebe-se diferença de 20% a 50% entre os modelos excêntricos e concêntricos.

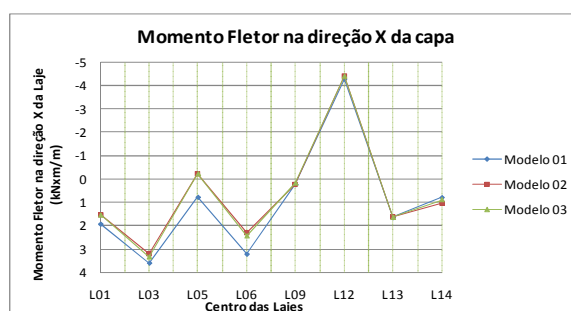


Gráfico 5.278: Momento fletor na direção Y na capa do pavimento (kNm/m)

5.3.12 Tensões nas vigas

Os cálculos das tensões foram feitos de acordo com a resistência dos materiais, somando a parcela de tensões proveniente do momento fletor e dos esforços axiais. As vigas foram consideradas com seções integras.

As tensões obtidas nas vigas 05, 11 e 34 são apresentados da Tabela 5.107 até a Tabela 5.109, onde também são apresentados os erros do Modelo 01 (concêntrico) em relação aos Modelos 02 e 03. Do Gráfico 5.279 ao Gráfico 5.281 são apresentados os diagramas.

Tabela 5.107: Tensões na viga 05 do pavimento (kN/m²)

Pto	Tensões na Viga			Erro de M01 em relação a	
	M01	M02	M03	M02	M03
Viga 05	1132,687813	3437,422526	2333,133333	67,05%	51,45%
	113,8527083	2976,901042	2221,770833	96,18%	94,88%
	2068,360208	2653,707682	2097,375	22,06%	1,38%
	4315,039167	2632,755534	2846,4375	63,90%	51,59%
	6667,804375	4781,608073	4594,979167	39,45%	45,11%
	9229,609792	7389,453125	6526,427083	24,90%	41,42%
	10058,72813	8227,815755	7200,770833	22,25%	39,69%
	10868,42792	9032,8125	7813,4375	20,32%	39,10%
	11385,85042	9617,773438	8218,020833	18,38%	38,55%
	11501,59	9900,520833	8349,583333	16,17%	37,75%
	11169,04146	9838,11849	8178,020833	13,53%	36,57%
	10371,88458	9406,08724	7688,541667	10,27%	34,90%
	9111,576229	8585,677083	6875,729167	6,13%	32,52%
	7403,325646	7360,042318	5742,5	0,59%	28,92%
	5273,939458	5723,352865	4303,78125	7,85%	22,54%
	2766,675854	3599,254557	2574,229167	23,13%	7,48%
			Máximos	96%	95%

As maiores diferenças de tensões entre os modelos encontradas na viga 05 foram de 96% para o Modelo 02 e 95% para o Modelo 03. Numa visão geral, as diferenças ficaram em torno de 20% para o Modelo 02 e 30% para o Modelo 03.

Tabela 5.108: Tensões na viga 11 do pavimento (kN/m²)

Pto	Tensões na Viga			Erro de M01 em relação a	
	M01	M02	M03	M02	M03
Viga 11	116,2308333	143,927381	98,96533333	19,2%	17,45%
	1593,941667	2210,773243	1556,248333	27,9%	2,42%
	3499,11	4854,041667	3422,191667	27,9%	2,25%
	14181,55167	17430,15023	12403,05	18,6%	14,34%
	10942,55667	12926,19048	9203,5	15,3%	18,90%
	7636,136667	8241,822562	5872,766667	7,3%	30,03%
	7356,618333	12534,46712	8323,166667	41,3%	11,61%
	9233,228333	15385,77098	10289,03333	40,0%	10,26%
	29654,76667	44477,89116	30931	33,3%	4,13%
	23367,51667	34434,5805	23745,5	32,1%	1,59%
	4264,665	669,5833333	774,47	536,9%	450,66%
	2847,443333	641,2981859	594,5033333	344,0%	378,96%
	1514,241667	669,380102	498,08	126,2%	204,02%
	284,305	660,670068	398,7683333	57,0%	28,70%
	685,5733333	595,5300454	395,042	15,1%	73,54%
	1574,046667	735,9552154	854,04	113,9%	84,31%
	2226,326667	1104,435941	1178,18	101,6%	88,96%
	2618,143333	1329,311224	1351,37	97,0%	93,74%
	2733,728333	1399,583333	1363,11	95,3%	100,55%
	2561,083333	1305,569728	1204,273333	96,2%	112,67%
	2092,036167	1040,146542	868,09	101,1%	140,99%
	1320,899667	596,4030612	347,8566667	121,5%	279,73%
	244,3161667	-36,3577098	-366,246667	772,0%	166,71%
	1171,5975	-870,779478	-1286,40133	234,5%	191,08%
	2890,883333	-1949,03628	-1373,61333	248,3%	310,46%
	4926,541667	-2535,00567	-899,506667	294,3%	647,69%
	16874,2	950,2834467	2524,966667	1675,7%	568,29%
	13567,61667	-56,1507937	1107,633333	24262,8%	1124,92%
	10562,88167	-201,643991	557,3333333	5338,4%	1795,25%
	7868,918333	-176,984127	271,7333333	4546,1%	2795,82%
	5512,743333	-134,382086	82,73333333	4202,3%	6563,27%
	3520,518333	-101,70068	-51,7933333	3561,6%	6897,24%
	1909,088333	-82,7806122	-145,073333	2406,2%	1415,95%
683,7783333	-67,6218821	-195,896667	1111,2%	449,05%	
12,44133333	-40,2749433	-199,166667	130,9%	106,25%	
509,5833333	12,84013605	-154,966667	3868,7%	428,83%	
647,3433333	74,32681406	-88,2773333	770,9%	833,31%	
		Máximos	24263%	6897%	

Na viga 11 houve picos de diferenças entre as tensões obtidas nos modelos, nessas diferenças ocorreram à inversão de sinais. Onde não ocorreu a inversão de sinais as diferenças máximas foram de 537% para o Modelo 02 e 451% para o Modelo 03.

Tabela 5.109: Tensões na viga 34 do pavimento (kN/m²)

Pto	Tensões na viga			Erro de M01 em relação a	
	M01	M02	M03	M02	M03
	11859,11833	15019,39342	11077,83333	21,04%	7,05%
	17040,75667	22569,6712	16494,18333	24,50%	3,31%
	22069,63833	29807,82313	21682,66667	25,96%	1,78%
	19809,245	25902,01247	18839,16667	23,52%	5,15%
	6045,448333	-1846,02041	-413,18	427,49%	1563,15%
	8946,461667	-528,939909	1722,833333	1791,39%	419,29%
	15,16086667	1876,907596	1328,863333	99,19%	98,86%
	1777,227167	1872,403628	1167,960667	5,08%	52,16%
	3433,775333	2099,410431	2084,793333	63,56%	64,71%
	4950,1225	2651,828231	3231,74	86,67%	53,17%
	6339,513833	3666,836735	4298,146667	72,89%	47,49%
	7647,074667	4630,895692	5319,2	65,13%	43,76%
	9025,583833	5668,055556	6352,366667	59,24%	42,08%
	9473,323333	6339,314059	7003,2	49,44%	35,27%
	9964,922667	6998,979592	7624,766667	42,38%	30,69%
	10350,731	7577,862812	8153,066667	36,59%	26,96%
	10576,01467	8044,274376	8558,633333	31,47%	23,57%
	10616,345	8381,320862	8826,6	26,67%	20,28%
	10461,3	8581,235828	8950,233333	21,91%	16,88%
	10115,62667	8643,027211	8928,866667	17,04%	13,29%
	9598,438333	8569,4161	8767,066667	12,01%	9,48%
	8944,961667	8370,578231	8475,9	6,86%	5,53%
	8196,795	8056,972789	8067,733333	1,74%	1,60%
	7390,41	7638,435374	7554,733333	3,25%	2,18%
	6540,746667	7119,160998	6941,6	8,12%	5,77%
	5640,01	6490,05102	6220,833333	13,10%	9,34%
	4669,673333	5735,487528	5380,533333	18,58%	13,21%
	3628,776667	4828,514739	4406	24,85%	17,64%
	2612,29	3617,811791	3184,576667	27,79%	17,97%
	1310,531667	3020,323129	2493,663333	56,61%	47,45%
	126,6906667	2237,02381	1598,84	94,34%	92,08%
	1710,1	1275,836168	497,47	34,04%	243,76%
	3607,158333	77,74376417	-882,24	4539,80%	508,86%
	17481,39	4703,486395	6471,666667	271,67%	170,12%
	14671,22667	2513,123583	4153,4	483,78%	253,23%
	12076,52	1596,400227	2835,366667	656,48%	325,92%
	9670,606667	1154,73356	1977,133333	737,48%	389,12%
	7433,515	847,9875283	1286,366667	776,61%	477,87%
	5342,085	426,1819728	543,9666667	1153,48%	882,06%
	3353,523333	-454,980159	-273,65	837,07%	1325,48%
	2548,15	-21,7488662	45,41666667	11816,24%	5510,61%
	1823,925333	160,2352608	168,1366667	1038,28%	984,79%
	1201,038833	207,8684807	177,8966667	477,79%	575,13%
	688,4643333	150,3837868	110,9033333	357,80%	520,78%
	288,3654167	49,51162132	38,55166667	482,42%	648,00%
			Máximos	11816%	5511%

Na viga 34 houve picos de mais de 10.000% para o Modelo 02 e mais de 5.000% para o Modelo 03 próximos aos apoios. Houve uma grande variabilidade nas

diferenças entre os valores de tensões. No geral as diferenças foram de 20% a 100% nos dois Modelos excêntricos.

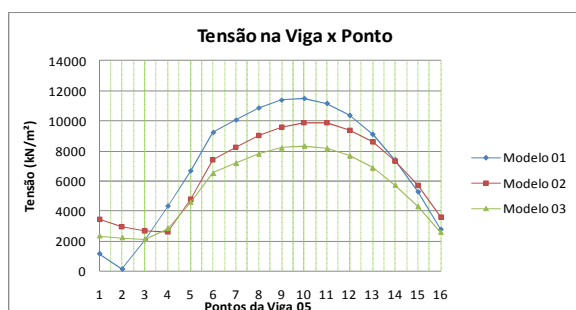


Gráfico 5.279: Tensões na viga 05 do pavimento (kN/m²)

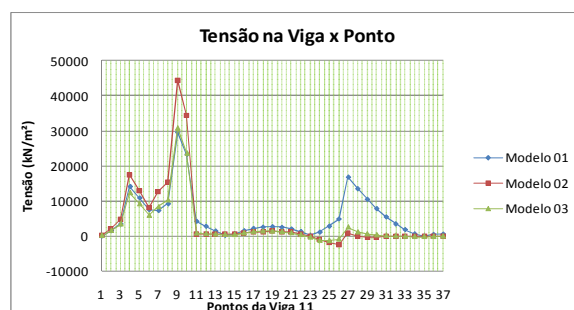


Gráfico 5.280: Tensões na viga 11 do pavimento (kN/m²)

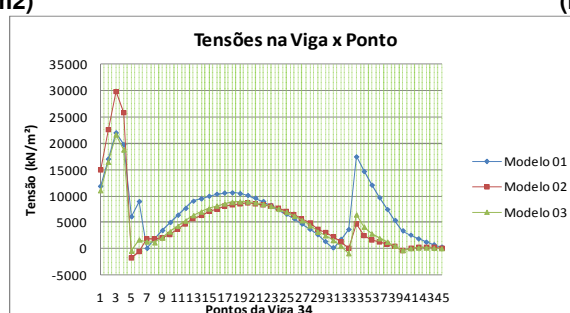


Gráfico 5.281: Tensões na viga 34 do pavimento (kN/m²)

Os gráficos mostram comportamentos das tensões nos modelos muito parecidos e no geral os modelos excêntricos mostram valores de tensões reduzidos em relação ao modelo concêntrico. Nos pontos onde existem momentos negativos o Modelo 02 apresenta tensões superiores ao modelo concêntrico e ao Modelo 03.

Na análise de tensões pode-se notar, considerando o modelo excêntrico na análise numérica, pode-se gerar economia com a redução de armaduras ou redução das seções dos elementos.

5.3.13 Tensões na direção X da capa

Os cálculos das tensões foram feitos de acordo com a resistência dos materiais, somando a parcela de tensões proveniente do momento fletor e dos esforços axiais. Nos cálculos foram considerados as uma faixa de laje com uma unidade de comprimento e altura de valor igual a espessura da mesma.

Na Tabela 5.110 são apresentados os valores das tensões na direção X do pavimento no centro das lajes de um apartamento e o erro do modelo concêntrico

(Modelo 01) em relação aos modelos excêntricos (Modelo 02 e Modelo 03). No Gráfico 5.282 mostra o diagrama das tensões.

Tabela 5.110: Tensões na direção X na capa do pavimento (kN/m²/m)

Laje	Tensões na direção X da Laje			Erro de M01 em relação a	
	M01	M02	M03	M02	M03
L01	4017,513033	2591,410261	2599,463304	55,03%	54,55%
L03	7490,738439	5709,203006	5958,879698	31,20%	25,71%
L05	1601,007739	-2259,73005	-2492,39498	170,85%	164,24%
L06	6693,573946	3334,532182	3597,038341	100,74%	86,09%
L09	474,8833703	161,4408	108,4084273	194,15%	338,05%
L12	8963,163935	9276,7697	9247,906006	3,38%	3,08%
L13	3466,5341	3218,388596	3229,554569	7,71%	7,34%
L14	1621,624473	3023,086018	2658,333329	46,36%	39,00%
			Máximos	194%	338%

No centro das lajes de um apartamento do pavimento, os modelos excêntricos apresentam reduções acima de 80% em relação ao modelo concêntricos salvo os pontos 6 e 7 que não apresentaram diferenças consideráveis. No caso da laje 05 houve inversão de sinal, e nas lajes L12, L13 e L14 houve as tensões foram maiores nos modelos Excentricos.

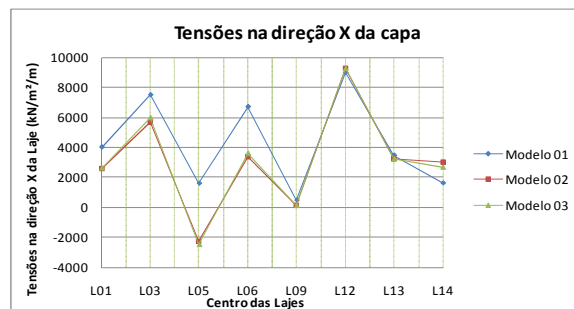


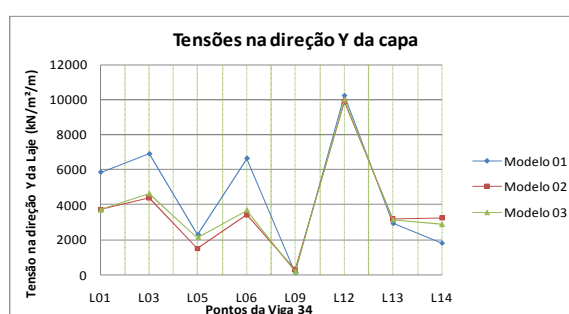
Gráfico 5.282: Tensões na direção X na capa do pavimento (kN/m²/m)

5.3.14 Tensões na direção Y da capa

Na Tabela 5.111 são apresentados os valores das tensões na capa na direção Y do pavimento e o erro do modelo concêntrico (Modelo 01) em relação aos modelos excêntricos (Modelo 02 e Modelo 03). No Gráfico 5.283 é apresentado o diagrama de tensões nos pontos centrais das lajes de um apartamento do modelo.

Tabela 5.111: Tensões na direção Y na capa acima da viga 05 do pavimento (kN/m²/m)

Laje	Tensões na direção Y da Laje			Erro de M01 em relação a	
	M01	M02	M03	M02	M03
L01	5850,615659	3706,096288	3698,049973	57,86%	58,21%
L03	6890,932708	4411,343975	4622,357807	56,21%	49,08%
L05	2298,792905	1474,819889	2129,953833	55,87%	7,93%
L06	6637,77079	3427,153261	3689,62574	93,68%	79,90%
L09	130,4267551	268,6651375	176,1662229	51,45%	25,96%
L12	10208,73286	9880,119262	9978,272862	3,33%	2,31%
L13	2935,209369	3163,185827	3143,689193	7,21%	6,63%
L14	1820,012767	3257,853734	2873,435004	44,13%	36,66%
			Máximos	94%	80%

**Gráfico 5.283: Tensões na direção Y na capa acima da viga 05 do pavimento (kN/m²/m)**

Pela tabela vê-se que as diferenças máximas são de 94% para o Modelo 02 e de 80% para o Modelo 03. Nas lajes L09, L13 e L14 o modelo concêntrico apresentou níveis de tensões inferiores aos modelos Excêntricos.

6 Conclusão

Estudos anteriores a este trabalho mostraram que em pavimentos de lajes nervuradas com o espaçamento reduzido entre as vigas, a consideração da excentricidade pode reduzir pela metade o valor dos deslocamentos na laje. Para pavimentos com poucas vigas, não foram encontrados estudos semelhantes. Neste trabalho foi estudada a influência da consideração da excentricidade no acoplamento entre laje e viga em pavimentos com poucas vigas.

Primeiro foram estudados exemplos encontrados em literatura para a validação das metodologias aqui utilizadas.

Na avaliação do efeito da excentricidade utilizou-se três abordagens, o modelo concêntrico (chamado de Modelo 01), e as abordagens excêntricas que se diferem na forma como a viga é considerada. No Modelo 02 a viga é considerada com o topo chegando ao fundo da laje e no Modelo 03 o topo das vigas chegam ao topo da laje.

O material considerado foi o concreto armado no regime elástico-linear, de acordo com a Norma Brasileira NBR 6118/2003. As seções são prismáticas e com pelo menos um eixo de simetria, desprezando as deformações por cortante e torção.

Para avaliar se a excentricidade é um fator importante na análise estrutural, foi estudado um modelo de pavimento quadrado com dimensões usuais com laje nervurada. Então as lajes são retiradas pouco a pouco e analisados os deslocamentos e esforços obtidos nesses modelos.

Numa visão geral, os deslocamentos e as tensões apresentaram reduções apreciáveis em todos os casos, inclusive quando a laje não apresentava nenhuma nervura em seu domínio, somente as vigas de contorno.

Na avaliação de um pavimento real foi possível perceber reduções consideráveis de deslocamentos e tensões em todo o pavimento.

Os deslocamentos nas lajes chegaram a ser 293% menores para o Modelo 02 e 229% menores para o Modelo 03. As tensões, tanto nas lajes como nas vigas, também se apresentaram reduzidas.

Em todos os casos os modelos excêntricos apresentaram esforços axiais muito pronunciados em relação ao modelo concêntrico. Já os esforços de cisalhamento não foram muito afetados com a consideração da excentricidade.

Com base nos dados apresentados pode-se concluir, que a desconsideração da excentricidade na ligação laje-viga em pavimentos usuais, onde as vigas são muito espaçadas, levam a resultados superestimados de deslocamentos e tensões na estrutura. Isto mostra, na análise numérica, que com esta consideração pode-se gerar redução de custos no dimensionamento das estruturas através da redução da quantidade de armadura e/ou redução das seções das peças.

Como foi demonstrada, a consideração da excentricidade na análise estrutural pode ser feita de forma simples, com uma pequena alteração na matriz de transformação do elemento de viga. Sendo assim, pode-se concluir que a excentricidade é um fator de simples implementação, que não acarreta em custo de processamento e melhora a representação do modelo estrutural analisado.

Referencias

- Abdul-Wahab, H. M. S. e Khalil, M. H. ***Rigidity and Strength of Orthotropic Reinforced Concrete Waffle Slabs***. Journal of structural engineering. 2000, pp. 219-227.
- Albuquerque, A. T. de. ***Análise de Alternativas Estruturais Para Edifícios de Concreto Armado***. Dissertação de Mestrado. 1999. São Carlos, SP : EESC-USP.
- Allen, D. N. G. e Severn, R. T. ***Composite Action of Beams and Slabs under Transverse Loading***. 1961, pp. 235-239.
- Araújo, J. M. de. ***Avaliação dos métodos simplificados para cálculo de lajes maciças apoiadas em vigas flexíveis***. Teoria e Prática na Engenharia Civil. 2008, Vol. 12, pp. 1-11.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. ***NBR6118/2003: Projeto de Estruturas de concreto - Procedimento***. Rio de Janeiro, 2003.
- Barbirato, C. B. C. ***Contribuições à Análise de Pavimentos em Edifícios de Lajes Nervuradas***. Dissertação de mestrado. São Carlos, SP : EESC-USP, 1997.
- Barik, M A e Mukhopadhyay, M. ***A new stiffened plate element for analysis of arbitrary plates***. Thin-Walled Structures. 2002, Vol. 40, pp. 625–639.
- Bastos, P. S. dos S.. ***Notas de Aula Vigas e Lajes de Concreto Armado***. Bauru, São Paulo : Unesp/Bauru, 2005.
- Bedair, O.K. ***Analysis of Stiffened Plates Under Lateral Loading Using Sequential Quadratic Progaming (SQP)***. Computer & Structures. 1997, pp. 63-80.
- Carvalho, R. C. e Figueiredo Filho, J. R. de. ***Calculo e Detalhamento de Estruturas Usuais de Concreto Armado Segundo a NBR 6118:2003***. São Carlos : EDUFSCar, 2004.
- CHEUNG, M. S., AKHRAS, Georges e Li, W. ***Combined boundary element/finite strip analysis of bridges***. Journal of structural engineering New York, N.Y. 3, 1994, Vol. 120, pp. 716-727.
- Cunha, A. J. P. da e Souza, V. C. M. de. ***Lajes em concreto armado e protendido***. 2ª Edição. Niterói : Ed. UERJ, 1998. p. 580.
- Deb, A e Deb, M. K. ***Analysis of Orthotropically Modeled Stiffened Plates***. International Journal of Solids Structures. 5, 1991, Vol. 25, pp. 647-667.

Deb, A. e Botton, M. **Finite element models for stiffened plates under transverse loading.** Computer and structures. 3, 1988, Vol. 28, pp. 362-372.

Dias, R. H. **Análise numérica de pavimentos de edifícios em lajes nervuradas.** Dissertação (Mestrado). São Carlos, SÃO PAULO : Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2003.

El-Dardiry, E. e Ji, T. 2007. **The effect of eccentricity on the free vibration of composite floors.** Computers and Structures. 2007, Vol. 85, pp. 1647–1660.

Fernandes, G. R. e Konda, D. H. **A BEM formulation based on Reissner's theory to perform simple bending analysis of plates reinforced by rectangular beams.** Comput Mech. 2008, Vol. 42, pp. 671–683.

Giongo, J. S. **Concreto armado: Projeto estrutural de edifícios:** Notas de aula. Fevereiro de 2007.

Gruttmann, F., Sauer, R. e Wagner, W. **A geometrical nonlinear eccentric 3D-beam element with arbitrary cross-sections.** Computer Methods Applied in Mechanical Engineering. 1998, Vol. 160, pp. 383-400.

Gupta, Ajaya K. **Error in eccentric beam formulation.** International Journal For Numerical Methods in Engineering, Vol 11, 1977, pp. 1473-1483.

Harik, I E e Guo, M. **Finite Element Analysis of Eccentrically Stiffened Plates in Free Vibration.** Computer and Structures. 6, 1993, Vol. 49, pp. 1007-1015.

Harik, I E e Salamoun, G L. **The analytical strip method of Solution for stiffened rectangular plates.** Computer and Structures. 2, 1988, Vol. 29, pp. 283-291.

Jiang, W, Bao, G e Roberts, J C. **Finite element modeling of stiffened and unstiffened orthotropic plates.** Computer and structures. 1, 1997, Vol. 63, pp. 105-117.

Kanok-Nukulchai, W e Gilani, A K. **A macro element for waffle slabs analysis.** Computer and Structures. 1982, Vol. 15, 2, pp. 117-122.

Kanok-Nukulchai, Worsak. **Simple and Efficient Finite Element For General Shell Analysis.** International Journal for Numerical Methods in Engineering. 2, 1979, Vol. 14, pp. 179-200.

Kolli, M e Chandrashekhara, K. **Finite element analysis of stiffened laminated plates under transverse loading.** Composites Science and Technology. 1996, Vol. 56, pp. 1355-1361.

Miller, Robert E. 1980. **Reduction of error in eccentric beam modelling**. International Journal For Numerical Methods in Engineering, Vol 15, 1980, pp. 575-582.

Mukhopadhyaya, M. 1994. **Stiffened Plates in Bending**. Computer and structures. 4, 1994, Vol. 50, pp. 541-548.

Paiva, J. B. e Mendonça, A. V. 2010. **A coupled boundary element/differential equation method formulation for plate-beam interaction analysis**. Engineering Analysis with Boundary Elements. 2010, Vol. 34, pp. 456–462.

Parsekian, G. A. 1996. **Cálculo de Armação de Lajes de Concreto Armado com a Consideração de Momento Volvente**. Dissertação de Mestrado. São Carlos, SP : EESC-USP, 1996.

Peng-Cheng, S, Dade, H e Wang, Z. 1987. **Static, vibration and stability of stiffened plates using B spline functions**. Computer and Structures. 1, 1987, Vol. 27, pp. 73-78.

Rocha, A. M. da. **Concreto Armado**. 21^a ed. São Paulo : Nobel, 1987. Vol. 3.

Rossow, M. P. e Ibrahimkhail, A. K. 1978. **Constraint Method Analysis of Stiffened Plates**. Computers & Structures. 1978, Vol. Vol. 8, pp. 51-60.

Sapountzakis, E. J. e Katsikadelis, J. T. 2000. **Analysis of Plates Reinforced with Beams**. Computational Mechanics. 2000, Vol. 26, pp. 66-74.

Sapountzakis, E.J e Mokos, V.G. 2008. **An improved model for the analysis of plates stiffened by parallel beams with deformable connection**. Computers and Structures. 2008, Vol. 86, pp. 2166–2181.

Tanaka, M. e Bercin, A. N. 1998. **Static bending analysis of stiffened plates using the boundary element method**. Engineering Analysis with Boundary Elements. 1998, pp. 147-154.

Timoshenko, Stephen P. & Woinowsky-Krieger S. 1959. **Theory of plates and shells**. Singapore : McGraw-Hill, 1959.