

Ygor Dias da Costa Lima¹
Alex Sander Clemente de Souza²
Silvana De Nardin²

¹ Mestre em Construção Civil pela Pós-Graduação em Construção Civil – PPGCiv/UFSCar

² Prof. Dr. Pós-Graduação em Construção Civil da Universidade Federal de São Carlos PPGCiv/UFSCar (alex@ufscar.br)

Influência do tipo de laje nos custos de um edifício em aço

Resumo

São comparados o comportamento estrutural e aspectos construtivos dos sistemas de lajes e sua interferência no comportamento global da edificação. Foram analisados edifícios com lajes maciças, lajes pré-fabricadas com vigotas protendidas, lajes pré-fabricadas alveolares, lajes nervuradas e lajes mistas de aço e concreto com forma de aço incorporada. Para todas as situações a estabilidade global do edifício foi garantida por um núcleo rígido, o plano de vigas foi definido em função das características das lajes e a locação dos pilares permaneceu a mesma para os diferentes tipos de lajes. Para a comparação de custos foram incluídos desde custo de material, mão-de-obra, montagem e transporte. Os resultados obtidos permitem avaliar os custos relativos dos diversos componentes necessários a execução das lajes e da estrutura e o seu impacto no custo total da obra.

Introdução

Pesquisas e divulgação de conhecimentos relativos à construção metálica têm contribuído para mudar paradigmas e para o incremento do uso do aço na construção de edifícios comerciais, residenciais, grandes coberturas, pontes e passarelas entre outras aplicações.

No que se refere a edifícios estruturados em aço são várias as possibilidades para o sistema estrutural, seja para as ações horizontais (contraventamento) ou para as ações verticais resistidas e distribuídas pelas lajes.

No caso das lajes, independentemente do material estrutural, estas normalmente são em concreto armado ou protendido, moldadas no local ou pré-moldadas. Cada um dos diferentes tipos de lajes tem características particulares no que se refere a comportamento estrutural e aos aspectos construtivos que determinam sua escolha dentro de certos parâmetros da estrutura. Neste sentido, Albuquerque (1999) desenvolveu um estudo comparativo a fim de correlacionar os índices de consumo de materiais (concreto, aço e forma) e os respectivos custos, dentre vários sistemas estruturais em concreto armado. O autor estudou um edifício residencial com opções de laje maciça convencional, laje nervurada, lajes pré-fabricadas, laje nervurada e laje protendida. Para o caso em análise a estrutura com laje maciça

convencional resultou com o maior custo, enquanto a estrutura com laje nervurada apresentou o menor custo com diferença de 15% em relação à opção com laje convencional.

Particularmente, para as estruturas metálicas além das tipologias de lajes comuns em edifícios de concreto armado há ainda a possibilidade das lajes mistas de aço e concreto (ou lajes mistas com forma de aço incorporada). O comportamento e aplicabilidade de elementos mistos de aço e concreto e de lajes mistas em particular tem sido tema de investigação experimental e teórica no Brasil e em vários outros países (BELTRÃO, 2003; ANDRADE et al, 2004).

Nas lajes mistas de aço e concreto assim como nas lajes maciças convencionas e mesmo nas lajes pré-moldadas há a necessidade de lançamento de concreto no local. No entanto, nas lajes mistas e pré-moldadas se reduz significativamente o custo com formas e escoramento o que pode ser interessante para a construção metálica.

Em edifícios em aço, normalmente se deseja explorar o comportamento conjunto entre vigas de aço e a laje de concreto resultando nas vigas mistas de aço e concreto. Em princípio qualquer tipo de lajes pode ser utilizado para esse fim desde que se detalhe adequadamente a ligação entre laje e viga para garantir o comportamento conjunto. (De NARDIN et al. 2005, ; De NARDIN & SOUZA, 2008). Diante do exposto este trabalho pretende fazer

um estudo comparativo entre as várias possibilidades de lajes para um edifício estruturado em aço considerando aspectos estruturais, construtivos e econômicos.

Estudo de caso

A fim de comparar a influência do tipo de laje no comportamento e no custo da estrutura um edifício comercial foi projetado com diferentes sistemas de lajes. O edifício escolhido é o apresentado na Figura 1 e 2 adaptado de Bellei et al. (2008).

O edifício foi analisado com lajes maciças, laje com vigota pré-moldada protendida, laje nervurada, laje mista aço-concreto e laje pré-moldada alveolar. Os elementos em concreto armado foram dimensionados utilizando o software CAD-TQS adotando-se concreto C25 (C45 para laje alveolar) e aço CA 50. Já os elementos em aço e mistos de aço e concreto foram dimensionados segundo a NBR 8800:2008 adotando aço ASTM A36.

FIGURA 1: Edifício exemplo Planta

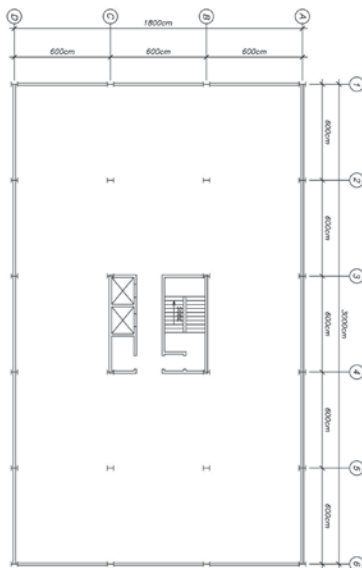


FIGURA 2: Elevação do eixo 3 e filas A e D

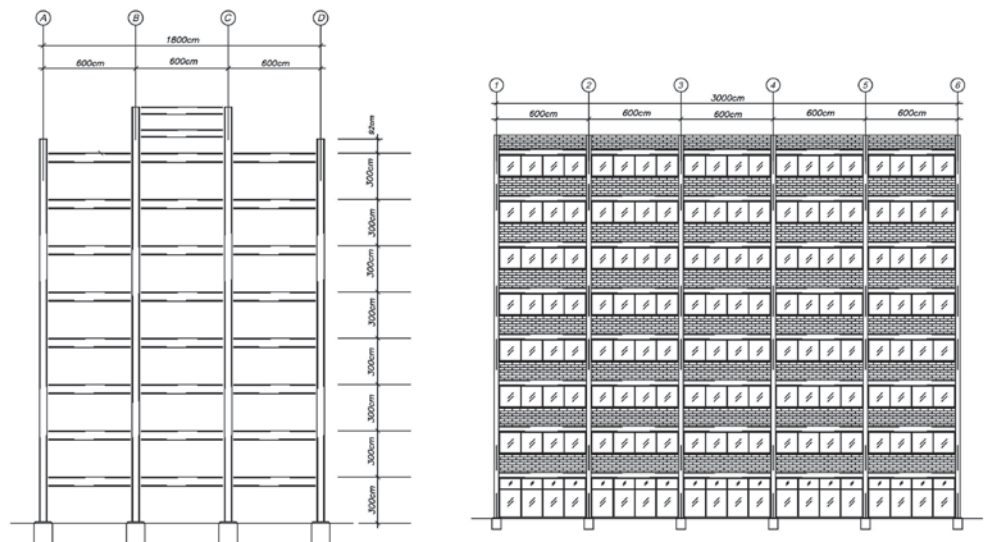


FIGURA 3:
Plano de vigas
laje maciça

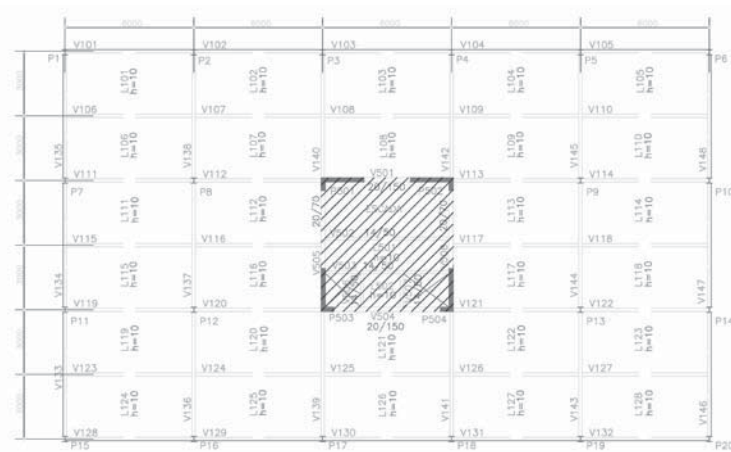


FIGURA 4:
Plano de vigas
laje com vigotas
protendidas

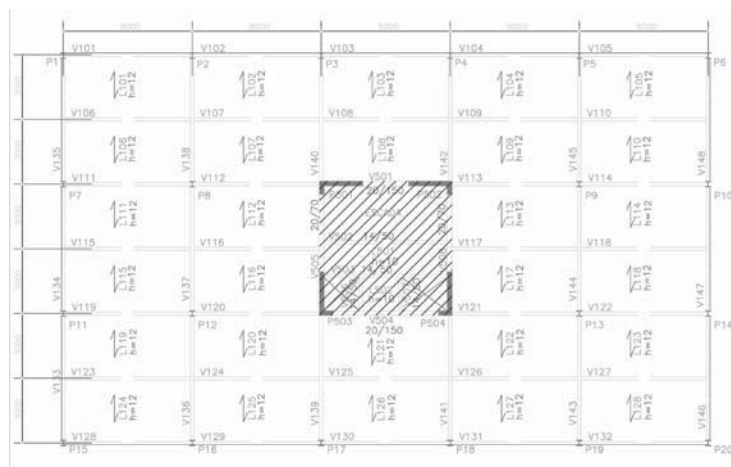


FIGURA 5:
Plano de vigas
laje nervurada

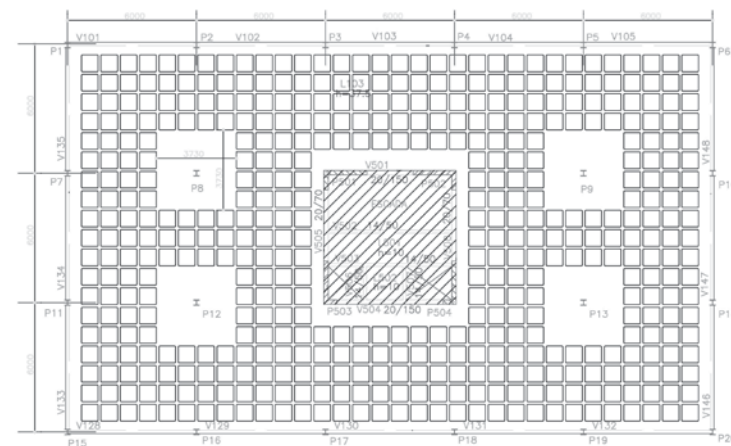
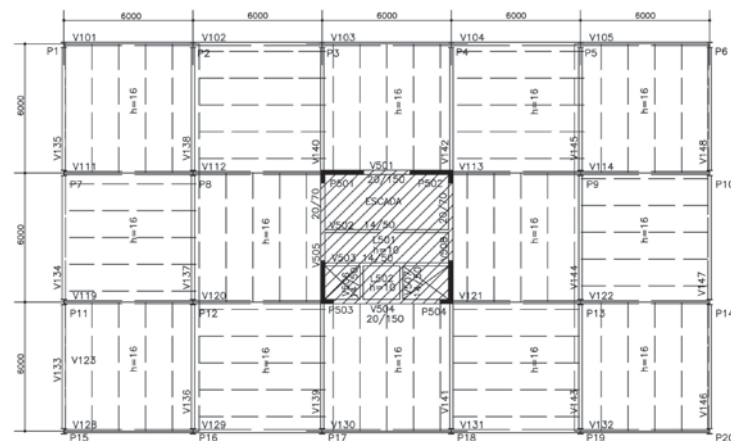


FIGURA 6:
Plano de vigas
laje alveolar



Lajes analisadas

As Figuras 3 a 8 apresentam os planos de vigas para as alternativas de lajes analisadas.

Na solução em laje maciça (Figura 3) as vigas foram dimensionadas como vigas mistas trabalhando em conjunto com laje. Já no caso da laje com vigota (Figura 4) não foi considerada a interação entre vigas e lajes, pois seria necessária uma região de laje maciça sobre a viga, acarretando acréscimos de formas e escoramentos reduzindo a eficiência do sistema de laje com elementos pré-fabricados.

Nas lajes com vigotas protendidas (Figura 4) foi utilizado enchimentos com lajotas cerâmicas e capeamento de 4cm. Para o vão da laje adotado de 3m não foi necessário escoramento.

Na laje nervurada (Figura 5) foram mantidas somente as vigas de aço do contorno dimensionadas como vigas de aço isoladas. Foi utilizado forma plástica com altura de 32,5cm com capeamento de 5cm resultando altura de 37,5cm.

Na solução com laje alveolar (Figura 6) foram utilizados painéis protendidos com espessura de 16cm. Nesta alternativa as vigas foram dimensionadas como viga de aço isolada.

Foram analisadas 2 alternativas para lajes mistas com forma de aço incorporada: i) Forma metálica com altura de 50mm (MF50) e espaçamento entre vigas de 2m (Figura 7); ii) Forma metálica com altura de 75mm (MF75) e espaçamento entre vigas de 3m (Figura 8). Em ambos os ca-

As vigas foram dimensionadas como vigas mistas conectadas a laje por meio de conectores tipo pino com cabeça.

Nos quantitativos foram incluídos custo de material, mão-de-obra, transporte e encargos sociais, para construção na cidade de Ribeirão Preto-SP.

Análise dos resultados

Nas Tabelas 1 a 6 são apresentados os custos da estrutura para cada uma das alternativas de lajes analisadas.

Na alternativa em laje maciça (Tabela 1) a estrutura metálica representa 56% do custo total, enquanto formas representam cerca de 20% deste custo o que é bastante elevado. O percentual de custos com forma para a solução em laje maciça é compatível com o que se obtém em uma estrutura de concreto armado convencional, levando-se em consideração que, no caso em estudo, as vigas e pilares são em aço.

Percebe-se pela Tabela 2 que a participação dos pilares no custo total não se modificou em relação à solução em laje maciça, porém as vigas não foram dimensionadas como mista acarretando um aumento percentual do custo das vigas em relação ao custo total. Deve-se considerar também o fato do processo construtivo para as lajes pré-fabricadas com vigotas protendida ser mais racional reduzindo formas, escoramentos e tempo de execução.

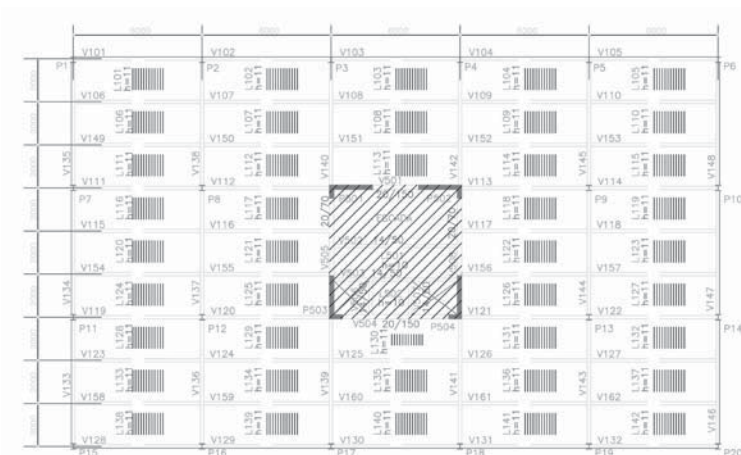


FIGURA 7: Plano de vigas laje mista MF 50

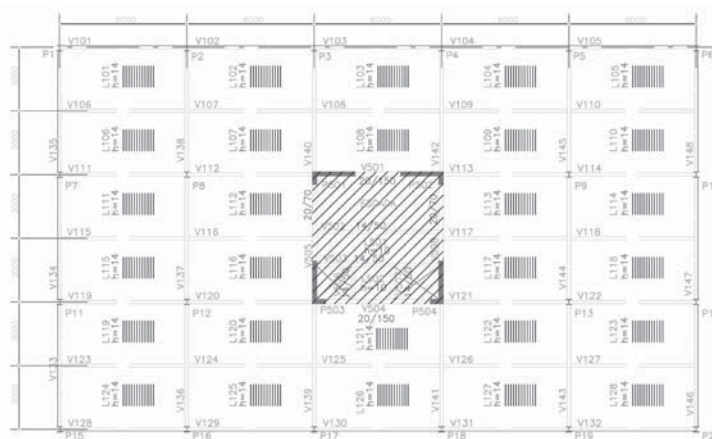


FIGURA 8: Plano de vigas laje mista MF 75

| Descrição | Total | | | % |
|---------------------------|-------------------|-------------------|---------------------|---------------|
| | Material | M.Obra | Total | |
| Laje Maciça | 780.066,48 | 399.552,00 | 1.302.675,12 | 100,00 |
| Forma chapa resinada 12mm | 61.528,32 | 80.640,00 | 142.168,32 | 12,05 |
| Armação Aço CA-50 | 98.400,00 | 24.000,00 | 122.400,00 | 10,38 |
| Concreto Usinado C25 | 104.958,00 | 24.480,00 | 129.438,00 | 10,97 |
| Escoramento | 22.700,16 | 24.192,00 | 46.892,16 | 3,98 |
| Pilares Metálicos | 177.120,00 | 88.560,00 | 265.680,00 | 22,52 |
| Vigas metálicas | 315.360,00 | 157.680,00 | 473.040,00 | 40,10 |

Tabela 1: Custos para laje maciça

| Descrição | Total | | | % |
|-------------------------------------|-------------------|-------------------|---------------------|---------------|
| | Material | M.Obra | Total | |
| Laje pré-moldada protendida | 888.018,84 | 399.528,00 | 1.287.456,84 | 100,00 |
| Armação Aço CA-60 (Isa pi fixa-Q61) | 16.168,32 | 4.032,00 | 20.200,32 | 1,57 |
| Concreto Usinado C25 | 52.479,00 | 12.240,00 | 64.719,00 | 5,03 |
| Laje pré moldada protendida | 133.499,52 | 40.320,00 | 173.819,52 | 13,50 |
| Pilares metálicos | 169.776,00 | 84.888,00 | 254.664,00 | 19,78 |
| Vigas metálicas | 516.096,00 | 258.048,00 | 774.144,00 | 60,13 |

Tabela 2: Custos para laje pré-moldada com vigotas protendidas

Tabela 3:
Custos para laje nervurada

| Descrição | Total | | % | |
|----------------------------------------------|-------------------|-------------------|---------------------|---------------|
| | Material | M.Obra | | |
| Laje Nervurada | 835.930,04 | 305.553,60 | 1.141.483,64 | 100,00 |
| Forma 1 - Caçambas (472unX7dias/lajeX8lajes) | 21.145,60 | 7.929,60 | 29.075,20 | 2,55 |
| Forma chapa resinada 12mm | 12.971,00 | 17.000,00 | 29.971,00 | 2,63 |
| Armação Aço CA-60 (tela p/ fiss- Q-138) | 40.884,48 | 4.032,00 | 44.916,48 | 3,93 |
| Concreto Usinado C25 | 193.452,00 | 45.120,00 | 238.572,00 | 20,90 |
| Armação Aço CA-50 | 244.392,80 | 59.608,00 | 304.000,80 | 26,63 |
| Escoramento | 27.740,16 | 24.192,00 | 51.932,16 | 4,55 |
| Pilares metálicos | 198.576,00 | 99.288,00 | 297.864,00 | 26,09 |
| Vigas metálicas | 96.768,00 | 48.384,00 | 145.152,00 | 12,72 |

Obviamente, na opção laje nervurada o custo da estrutura de aço (Tabela 3) representa um percentual pequeno, quando comparado às demais soluções estruturais.

A solução estrutural com laje alveolar apresenta o maior custo (Tabela 4), porém não necessita de formas e escoramentos tornando o processo construtivo mais rápido e racional.

Na laje mista MF 50 apesar de ter sido utilizado maior número de vigas, para eliminar o escoramento da laje o custo é inferior às soluções anteriores (Tabela 5).

A laje mista MF 75 apresentou o menor custo total entre as soluções analisadas. Seu custo resultou praticamente o mesmo da laje mista MF 50 (Tabela 5 e Tabela 6).

Pode-se observar pelas tabelas anteriores que os custos relativos dos materiais variam significativamente entre os tipos de lajes estudados. O custo relativo da estrutura metálica varia de 38% (para a laje nervurada) a 79% (para laje com vigota protendida). Enquanto o custo com concreto moldado no local variou de 4,6% (para a laje alveolar) a 20,9% (para laje nervurada). Essas variações dificultam a análise de custo em função dos insumos individualmente, e deixa claro que variações no preço de mercado de alguns desses insumos pode alterar significati-

Tabela 4:
Custos para laje alveolar

| Descrição | Total | | % | |
|------------------------------------------|-------------------|-------------------|---------------------|---------------|
| | Material | M.Obra | | |
| Laje Alveolar | 978.808,98 | 401.676,00 | 1.380.484,98 | 100,00 |
| Armação Aço CA-60 (tela p/ fiss- Q-138) | 40.884,48 | 4.032,00 | 44.916,48 | 3,25 |
| Laje Alveolar Protendida | 356.832,00 | - | 356.832,00 | 25,85 |
| Concreto Usinado C25 (capa + rejunte) | 51.964,50 | 12.120,00 | 64.084,50 | 4,64 |
| Pilares metálicos | 178.344,00 | 89.172,00 | 267.516,00 | 19,38 |
| Vigas metálicas | 350.784,00 | 175.392,00 | 526.176,00 | 38,12 |
| Mão de obra + equipamentos | - | 120.960,00 | 120.960,00 | 8,76 |

Tabela 5:
Custos para laje com forma de aço incorporada (MF 50)

| Descrição | Total | | % | |
|------------------------------------------|-------------------|-------------------|---------------------|---------------|
| | Material | M.Obra | | |
| Laje Alveolar | 978.808,98 | 401.676,00 | 1.380.484,98 | 100,00 |
| Armação Aço CA-60 (tela p/ fiss- Q-138) | 40.884,48 | 4.032,00 | 44.916,48 | 3,25 |
| Laje Alveolar Protendida | 356.832,00 | - | 356.832,00 | 25,85 |
| Concreto Usinado C25 (capa + rejunte) | 51.964,50 | 12.120,00 | 64.084,50 | 4,64 |
| Pilares metálicos | 178.344,00 | 89.172,00 | 267.516,00 | 19,38 |
| Vigas metálicas | 350.784,00 | 175.392,00 | 526.176,00 | 38,12 |
| Mão de obra + equipamentos | - | 120.960,00 | 120.960,00 | 8,76 |

Tabela 6:
Custos para laje com forma de aço incorporada (MF 75)

| Descrição | Total | | % | |
|-----------------------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|---------------|
| | Material | M.Obra | | |
| Laje mista MF-75 | 703.197,48 | 279.603,60 | 982.801,08 | 100,00 |
| Armação Aço CA-60 (tela p/ fiss- Q-75) | 20.280,96 | 4.032,00 | 24.312,96 | 2,61 |
| Concreto Usinado C25 | 107.016,00 | 24.960,00 | 131.976,00 | 14,18 |
| Escoramento das vigas | 1.453,32 | 264,00 | 1.717,32 | 0,18 |
| Steel Deck | 166.807,20 | 47.577,60 | 214.384,80 | 23,01 |
| Pilares metálicos | 165.312,00 | 82.656,00 | 247.968,00 | 26,63 |
| Vigas metálicas | 242.528,00 | 120.114,00 | 362.642,00 | 38,95 |

vamente o custo global de cada uma das soluções estudadas.

Os gráficos da Figura 13 e 14 apresentam uma comparação do custo da estrutura para as lajes analisadas.

A estrutura de menor custo foi aquela com laje mista MF 75, enquanto o maior custo foi a estrutura com laje alveolar sendo o custo desta solução 40% superior a solução mais econômica.

Figura 13: Custo total

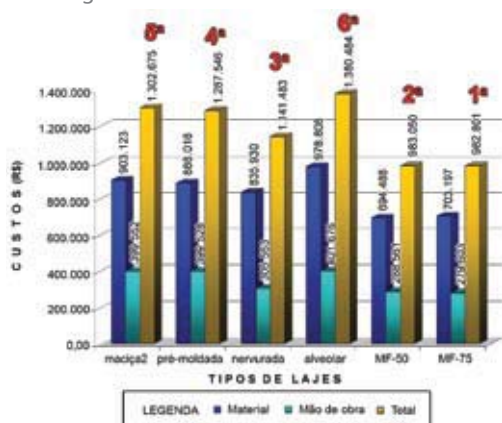
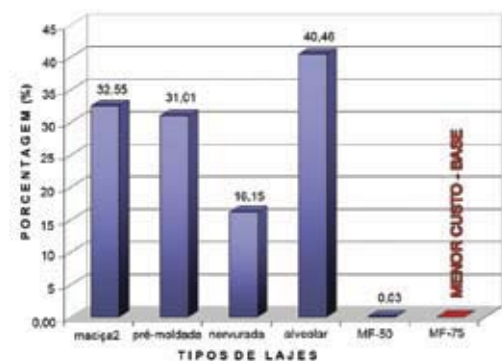


Figura 14: Acréscimos de custos relativos



Comentários finais

Foi feito um estudo com vários sistemas de laje para edifícios em estruturas metálicas com o objetivo de avaliar o comportamento estrutural e a influência do tipo de laje no custo global por meio de um estudo de caso constituído de um edifício comercial de 8 pavimentos. Os custos de material e mão-de-obra foram levantados entre maio e setembro de 2009 considerando a implantação na cidade de Ribeirão Preto-SP.

As diferenças de custos não podem ser analisadas friamente, devem ser avaliadas dentro do contexto do empreendimento. Além dos custos devem ser verificadas as condições construtivas, mão de obra e os materiais disponíveis na região. Ressalta-se também que extrapolações desses resultados para outras tipologias de edifícios devem ser feitas com muito cuidado, não há garantias que esses resultados se verifiquem para situações diferentes das analisadas aqui.

Não foram considerados custos de acabamentos e sistemas complementares que podem variar significativamente em função do tipo de laje adotado. ■

BIBLIOGRAFIA

- ALBUQUERQUE, A. T. *Análise de alternativas estruturais para edifícios em concreto armado*. 202p. 1999. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1999.
- ANDRADE, A., VELLASCO, P., SILVA, J., TAKEY, T. *Standardized composite slab systems for building constructions*. Journal of Constructional Steel Research, 60, p. 493-524. 2004.
- BELLEI, I. H. ; PINHO, F. O. ; PINHO, M. O. *Edifícios múltiplos andares em aço*. 2ª Ed. Editora Pini. São Paulo. 2008.
- BELTRÃO, A. J. N. *Comportamento estrutural de lajes mistas com corrugações na alma de perfis de chapa dobrada*. Rio de Janeiro: Departamento de Engenharia Civil – PUC–Rio, 2003. 124p. (Dissertação de Mestrado).
- De NARDIN, S. ; SOUZA, A. S. C. ; EL DEBS, A.L. *Comportamento conjunto em elementos mistos de aço e concreto: dispositivos mecânicos*. In: Congresso Latino Americano de Construção Metálica - Construmetal 2008, São Paulo.
- De NARDIN, S. ; SOUZA, A.S.C. ; EL DEBS, A.L. ; EL DEBS, M. K. *Estruturas mistas aço-concreto: origem, desenvolvimento e perspectivas*. In: 47 CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, Olinda, 2005.