

## ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE LAJES NERVURADAS COM DIFERENTES MOLDES DE FÔRMAS PLÁSTICAS

Welinton Mendes Bussolo (1); Alexandre Vargas (2)

UNESC – Universidade do Extremo Sul Catarinense

(1) *welintonmb@hotmail.com* (2) *avargas@unesc.net*

### RESUMO

Na maioria das estruturas convencionais, a laje exerce um papel preponderante, tanto no aspecto técnico como econômico. A escolha adequada do tipo de laje depende de estudos e simulações que devem, necessariamente, ser realizados pelo projetista. Dentre as diferentes possibilidades de tipologia de lajes, a nervurada com o uso de fôrmas plásticas tem merecido destaque no meio técnico, especialmente por sua versatilidade. Nesse contexto, esse trabalho tem por objetivo analisar configurações de lajes nervuradas com diferentes moldes. À partir de uma planta modelo, são lançados seis sistemas estruturais com diferentes tamanhos de fôrmas plásticas recuperáveis, conhecidas também como cubetas, e na sequência processados com o auxílio de um *software* comercial de análise estrutural amplamente utilizado no meio técnico. Os resultados analisados de acordo com as configurações propostas apresentam valores de índices de consumo do concreto e aço, além de identificar sua distribuição nas regiões dos maciços e no restante da laje. Ainda propõe um percentual de acréscimo no índice de concreto fornecido pelos fabricantes de cubetas para contemplar as regiões maciças num levantamento quantitativo paramétrico.

*Palavras-Chave: Laje nervurada; cubeta; fôrma plástica.*

### 1. INTRODUÇÃO

O grande desenvolvimento da construção civil, oferece alternativas estruturais e construtivas que permitam flexibilidade, eficiência e redução de custos, torna-se indispensável para um engenheiro civil avaliar as diferentes possibilidades que se apresentam. Com o auxílio de ferramentas de cálculo (*software*) o profissional pode simular diversos sistemas estruturais, tendo como base os critérios técnicos e econômicos para definir a melhor opção.

Um elemento estrutural que interfere significativamente no custo final da edificação é a laje, Chust (2013, p.12) comenta que:

O pavimento de uma edificação, devido a sua grande superfície, é, normalmente, a parte da estrutura que mais consome material. Assim, projetar um pavimento, por exemplo, reduzindo um centímetro na altura da laje pode conduzir a uma economia considerável.

A diversidade de sistemas estruturais como lajes maciças, nervuradas (pré-fabricadas ou moldadas *in loco*), protendidas, mistas, etc., possibilita para que cada situação

apresentada possa ter a solução adequada. Devido a exigência do mercado por maiores vãos livres, um modelo estrutural que está ganhando destaque é a laje nervurada. Araújo (2003, p. 144) destaca a sua vantagem em relação ao sistema convencional de laje maciça:

As lajes nervuradas exigem uma altura cerca de 50% superior à que seria necessária para as lajes maciças. Entretanto, o peso próprio da laje nervurada (e o consumo de concreto) é inferior ao da laje maciça, resultando em uma solução mais econômica para vãos acima de aproximadamente 8 m.

Diversos trabalhos realizados, analisaram e compararam a nervurada com outros modelos estruturais. Albuquerque (1999) em seu estudo de caso, constatou que a concepção estrutural com laje maciça consumiria 11,4% de concreto e 15,8 % de aço a mais em relação a laje nervurada. Carvalho (2012) comparou três sistemas estruturais: nervurada com vigotas pré-moldadas, maciça e nervurada com cubetas. O sistema com lajes nervuradas com vigotas foi o mais econômico, a maciça apresentou um gasto de 11,28% a mais e as nervuradas um custo de 6,72% acima da primeira. Mesmo não sendo a escolha mais econômica, ele recomenda a utilização da laje nervurada com cubeta, por possuir menor quantidade de vigas, propiciar mudanças no *layout* arquitetônico, além de poder vencer grandes vãos. Percebendo as vantagens descritas, Vittalli (2010) confrontou diferentes materiais de enchimento (bloco EPS, bloco de concreto celular, fôrma de madeira, bloco cerâmico e fôrma plástica) para lajes nervuradas, e concluiu que a fôrma plástica obteve o menor deslocamento máximo e os menores esforços. Nesse contexto, o objetivo deste trabalho é modelar lajes nervuradas com diferentes moldes de fôrmas plásticas e analisar os resultados de cada uma, avaliando o consumo de materiais (concreto, aço e fôrma), taxas de consumo, deslocamento vertical máximo e por fim realizar um comparativo de custo de alguns insumos.

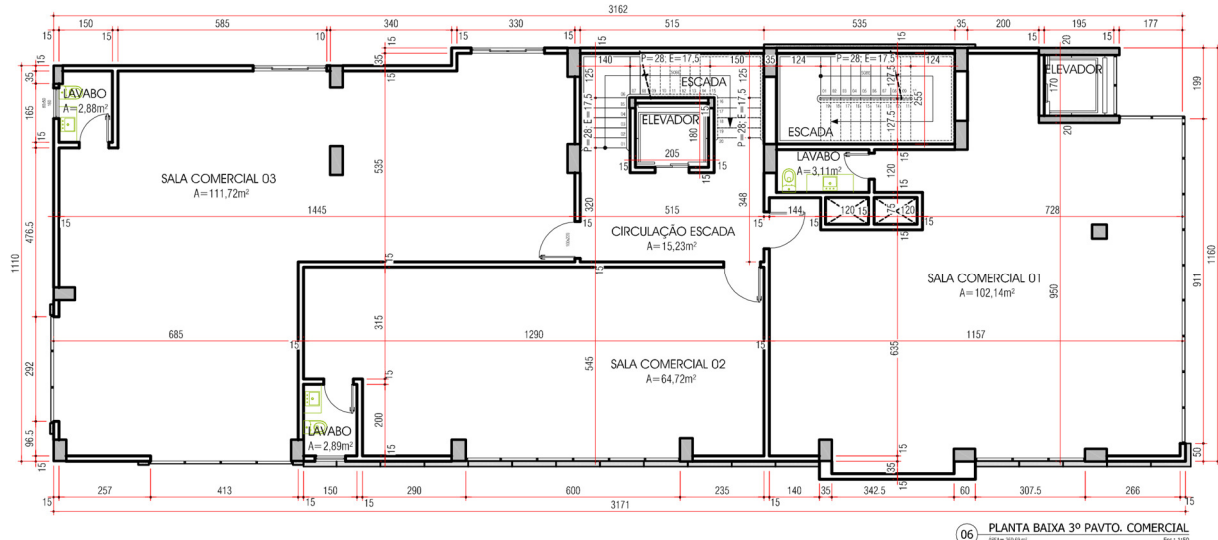
## **2. MATERIAIS E MÉTODOS**

### **2.1 PROJETO ARQUITETÔNICO MODELO**

Será adotado como modelo, a planta baixa do projeto de um edifício residencial e comercial de onze pavimentos, localizado na cidade de Orleans/SC, disponibilizado pela empresa Attuale Construção Civil Ltda. Para efeito de estudo, será realizado o cálculo somente de um pavimento comercial, com área de 360,69 m<sup>2</sup>. Os demais

níveis serão desconsiderados, apesar de sua importância para análise global da edificação. A Figura 1 representa a planta baixa do pavimento.

Figura 1 – Planta baixa do pavimento modelo



Fonte: Attuale Construção Civil Ltda., 2014.

## 2.2 CRITÉRIOS DE PROJETO

### 2.2.1 Software de cálculo

Para realizar os cálculos é utilizado o *software* CYPECAD versão 2012, amplamente utilizado no meio técnico.

No desenvolvimento desse estudo, as tabelas de armaduras inferior e superior das nervuras foram modificadas em relação à configuração original. Criou-se combinações exclusivas para melhor atender os objetivos da pesquisa como pode ser visto na Tabela 1.

Tabela 1 – Armaduras utilizada nas nervuras, face inferior e superior

Tabela de armadura de reforço para face superior e inferior da nervura				
Item	Barra 01		Barra 02	
	Quantidade	Diâmetro (mm)	Quantidade	Diâmetro (mm)
1	1	Ø6.3	-	-
2	1	Ø8	-	-
3	2	Ø6.3	-	-
4	1	Ø10	-	-
5	1	Ø6.3	1	Ø8
6	2	Ø8	-	-
7	1	Ø6.3	1	Ø10
8	1	Ø12.5	-	-
9	1	Ø8	1	Ø10
10	1	Ø6.3	1	Ø12.5
11	2	Ø10	-	-
12	1	Ø8	1	Ø12.5
13	1	Ø16	-	-
14	1	Ø10	1	Ø12.5
15	1	Ø6.3	1	Ø16
16	2	Ø12.5	-	-
17	1	Ø10	1	Ø16
18	1	Ø20	-	-
19	1	Ø12.5	1	Ø16
20	1	Ø6.3	1	Ø20
21	1	Ø8	1	Ø20
22	1	Ø10	1	Ø20
23	2	Ø16	-	-
24	1	Ø12.5	1	Ø20
25	1	Ø25	-	-
26	1	Ø6.3	1	Ø25
27	1	Ø8	1	Ø25
28	1	Ø10	1	Ø25
29	1	Ø12.5	1	Ø25
30	1	Ø20	-	-
31	1	Ø20	1	Ø25
32	2	Ø25	-	-

Fonte: Do autor, 2014.

Para as demais configurações, utilizou-se o padrão proposto pelo *software*.

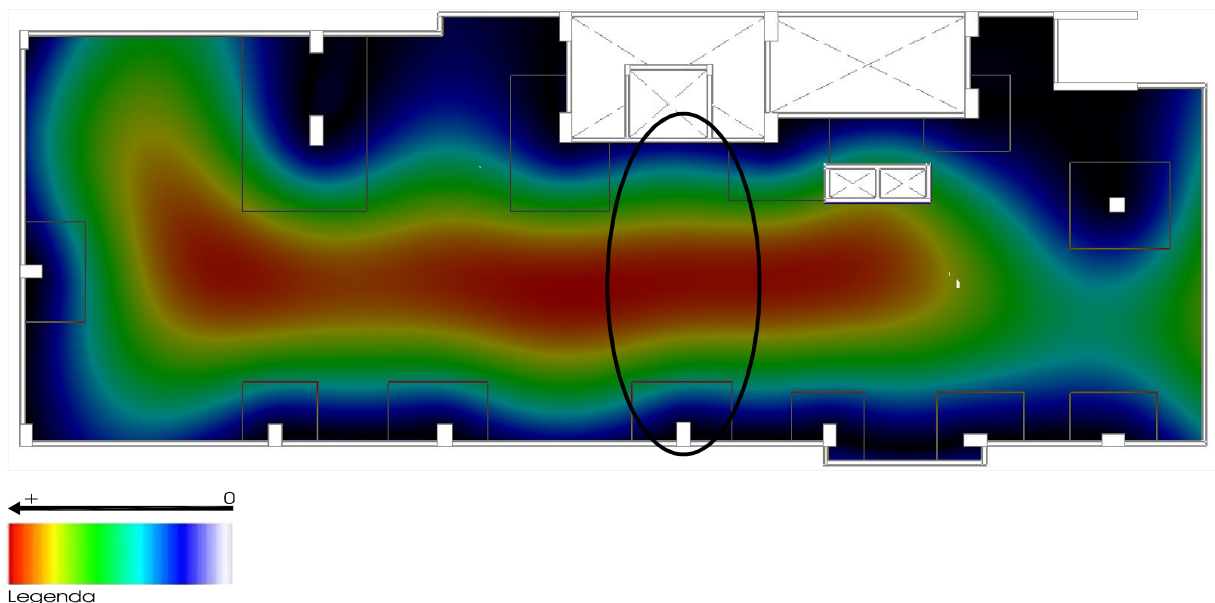
## 2.2.2 Cargas atuantes

Para a utilização de escritórios de uso geral e banheiros, considerou-se uma carga acidental de 2 kN/m<sup>2</sup>, conforme NBR 6120:1980. Cargas permanentes utilizou-se 1 kN/m<sup>2</sup> considerando o enchimento e revestimento do piso. A carga de parede adotou-se uma carga linear de 5,9 kN/m. O efeito do vento e sismos não estão considerados nesse trabalho.

## 2.2.3 Deformação Imediata

O *software* não analisa automaticamente a deformação limite, mas gera um arquivo com as deformações em todos os pontos da malha gerada, o que permite localizar a região com maior deformação. A máxima deformação encontrada no pavimento é comparada com a Tabela 13.3 da NBR 6118:2014, levando em consideração para este caso a aceitabilidade sensorial. A Figura 2 mostra a representação dos isovalores para os deslocamentos verticais no pavimento.

Figura 2 – Deslocamentos verticais no pavimento



Fonte: Do autor, 2014.

A cor vermelha representa o maior deslocamento em milímetros. Considerando o maior vão entre apoios (destacado na Figura 2) no trecho com os maiores

deslocamentos, encontramos o “l” necessário para o cálculo do deslocamento máximo:

$$\delta_{lim} = \frac{l}{250} \quad \text{Equação (1)}$$

Sendo que:

$\delta_{lim}$  = deslocamento limite

$l$  = distância

No caso do projeto utilizado “l” = 8100 mm. Dessa forma determina-se o deslocamento limite estabelecido por norma, como segue:

$$\delta_{lim} = \frac{8100}{250}$$
$$\delta_{lim} = 32,4 \text{ mm}$$

## 2.2.4 Características do modelo estrutural

### 2.2.4.1 Resistência do concreto e cobrimento das armaduras

As condições de exposições da estrutura é o fator que determina o cobrimento das armaduras e a resistência do concreto. O edifício está em um ambiente urbano com uma agressividade moderada e um risco de deterioração pequeno (classe de agressividade ambiental II). Com base nesses fatores, utilizou-se do concreto C30 e cobrimento nominal mínimo das armaduras para laje de 25 mm e 30 mm para vigas e pilares conforme estabelece a NBR 6118:2014. Aos aços utilizados são os CA-50 e CA-60.

### 2.2.4.2 Pilares e vigas

As dimensões dos pilares foram mantidas conforme o projeto estrutural original. Para efeito do estudo, os materiais que constituem o pilar não estão considerados no resultado final. A Tabela 2 apresenta as medidas dos pilares utilizados no estudo.

Tabela 2 – Dimensões dos pilares

Pilares e dimensões			
P01	25x50	P12	35x80
P02	35x60	P13	20x220
P03	35x80	P14	40x40
P04	35x80	P15	60x35
P05	35x65	P16	35x60
P06	20x220	P17	35x60
P07	15x30	P18	40x60
P08	15x30	P19	35x65
P09	35x80	P20	35x60
P10	35x80	P21	60x35
P11	35x80	P22	60x35

\*Medidas em centímetros

Fonte: Do autor, 2014.

Em relação as vigas adotam-se para todas uma seção única de 15x70 cm e como nos pilares, seus materiais não serão inclusos no estudo.

### 2.2.3.3 Maciços

A substituição de cubetas por concreto nas regiões próximas aos pilares auxilia no combate às tensões de punção. Para este estudo onde a punção não será detalhada, utilizou-se uma distância da face do pilar até o final do maciço, com a seguinte consideração:

$$2 x h \leq M \leq 5 x h$$

Equação (2)

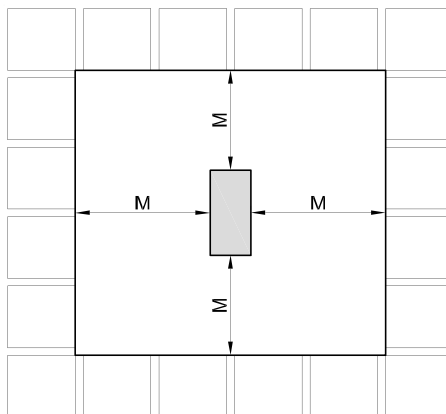
Sendo que:

M = distância do pilar ao fim do maciço

h = altura da laje

Ou seja, a região maciça limita-se com um mínimo de 2 vezes e um máximo de 5 vezes a altura da laje para cada direção, observando os esforços e armaduras de combate à punção propostas pelo *software*. A Figura 3 mostra o tamanho do maciço.

Figura 3 – Tamanho do maciço



Fonte: Do autor, 2014.

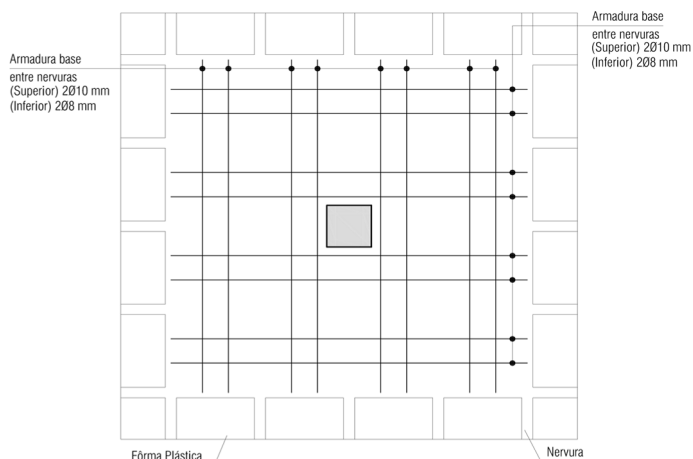
### 2.2.3.3.1 Armadura base nos maciços

A armadura base, localizada nos maciços, terá a seguinte armação:

- 2 barras de Ø8 mm na face inferior
- 2 barras de Ø10 mm na face superior.

A escolha se refere ao critério de usar um diâmetro, adotado pelo meio técnico, na parte inferior e na face superior um diâmetro acima para suportar as tensões de flexão próximo aos pilares (momentos negativos). A quantidade é para que o espaçamento entre as barras não seja superior a 30 centímetros. O detalhe pode ser observado na Figura 4.

Figura 4 – Armadura Base do maciço

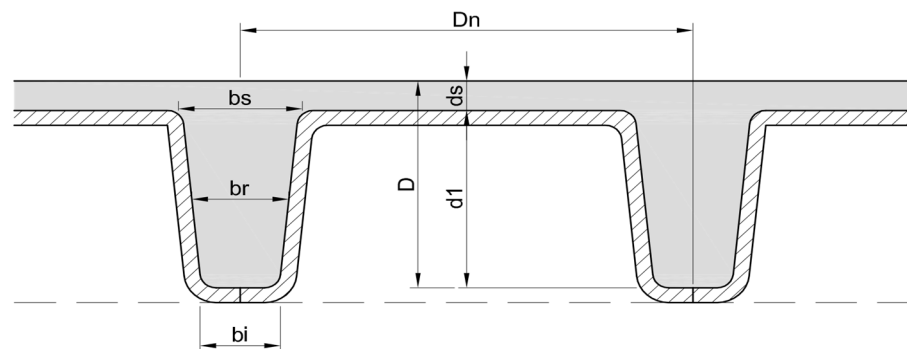


Fonte: Do autor, 2014.

### 2.2.3.4 Nervuras

A geometria das nervuras é determinada pelo fabricante de fôrma plástica reaproveitável. O mercado oferece diversos fabricantes, mas para este estudo utiliza-se a marca ATEX, empresa especializada em fôrmas para lajes nervuradas. A Figura 5 e a Tabela 3, identificam os modelos usados.

Figura 5 – Fôrmas plásticas.



Fonte: ATEX do Brasil, Catálogo 2014

Tabela 3 – Dimensões das fôrmas plásticas.

Modelo	Distância entre eixos	Altura da Forma	Espessura da lâmina	Altura Total	Largura da nervura			Volume do vazio	Peso próprio	Volume de concreto
					Inferior	Média	Superior			
					bi	br	Bs			
610	61	30	5	35	7,0	12,1	17,2	0,072	0,393	0,157
650	65	30	5	35	7,0	10,0	13,0	0,091	0,338	0,135
700	70	30	5	35	12,0	15,0	18,0	0,091	0,413	0,165
740	74	30	5	35	16,0	19,0	22,0	0,091	0,460	0,184
800	80	30	5	35	12,5	16,3	20,0	0,122	0,398	0,159
900	90	32,5	5	37,5	12,5	19,0	25,5	0,164	0,433	0,173

\*Medidas em centímetros

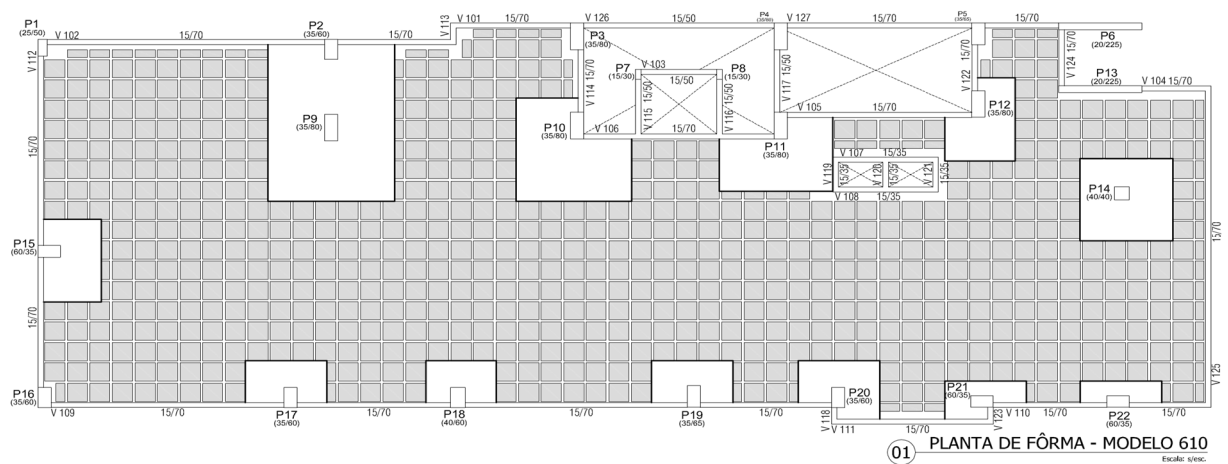
Fonte: ATEX do Brasil, Catálogo 2014.

A armadura base das nervuras é um item que cada projetista de estruturas determina, tanto o diâmetro quanto a quantidade a ser usado, ou até mesmo não utilizar esse expediente. Para este estudo a laje não possui armadura base em suas nervuras, com o intuito de chegar em uma armadura mínima necessária para combater os esforços. Vale salientar que o uso de armadura base auxilia no processo de execução tornando o projeto padronizado e conseqüentemente, simplificando a armação.

## 2.5 PLANTA DE FÔRMA

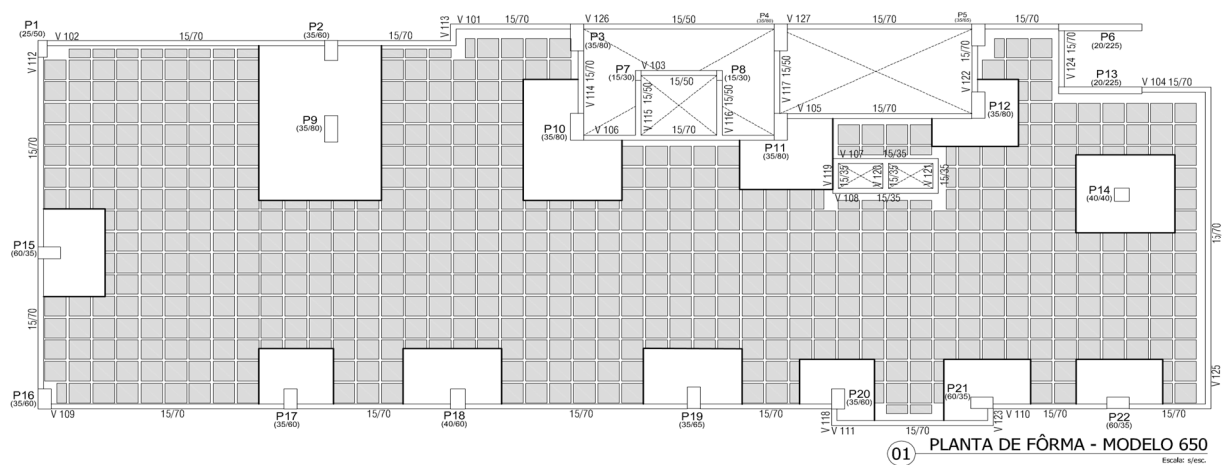
Nas Figuras 6 à 11, são apresentadas as plantas de fôrma das seis configurações utilizadas nesse trabalho. A numeração que segue o modelo representa a distância entre eixo das nervuras e as demais características apresentadas na Tabela 3.

Figura 6 – Laje nervurada: fôrma plástica modelo 610



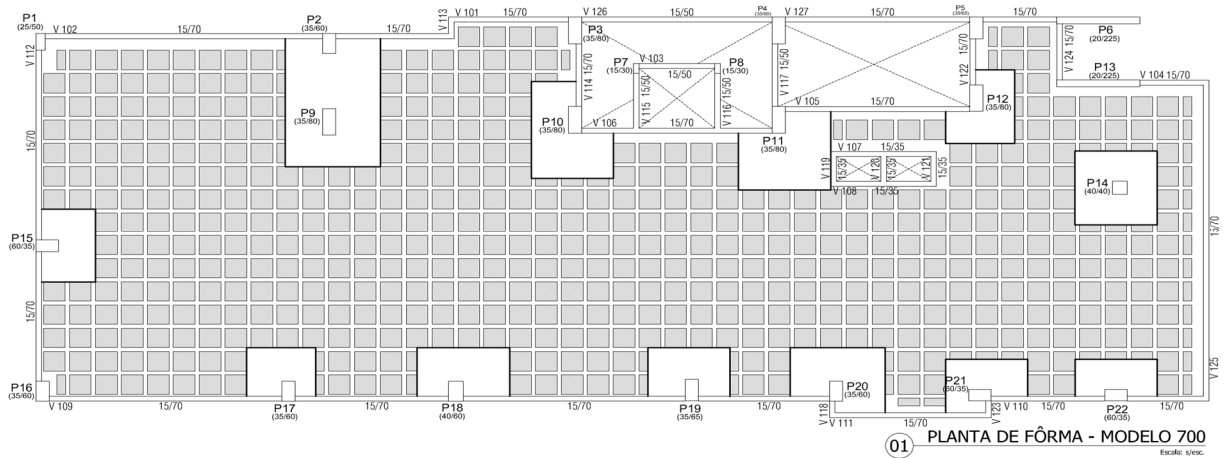
Fonte: Do autor, 2014.

Figura 7 – Laje nervurada: fôrma plástica modelo 650



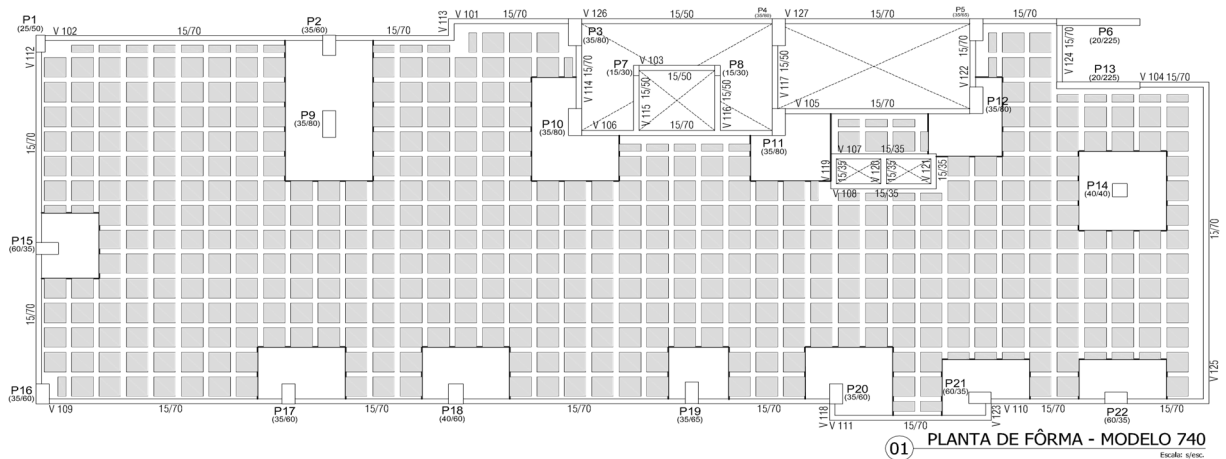
Fonte: Do autor, 2014.

Figura 8 – Laje nervurada: fôrma plástica modelo 700



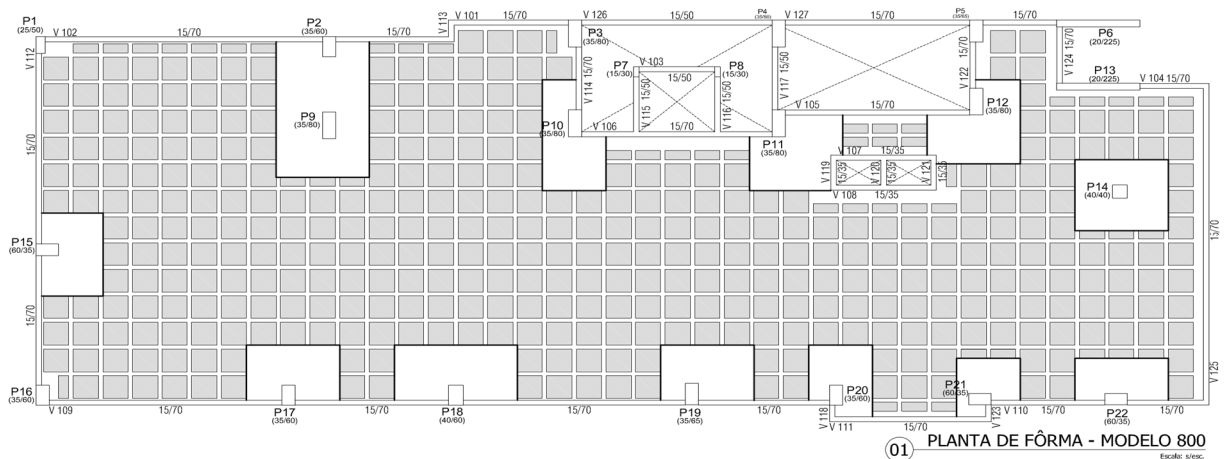
Fonte: Do autor, 2014.

Figura 9 – Laje nervurada: fôrma plástica modelo 740



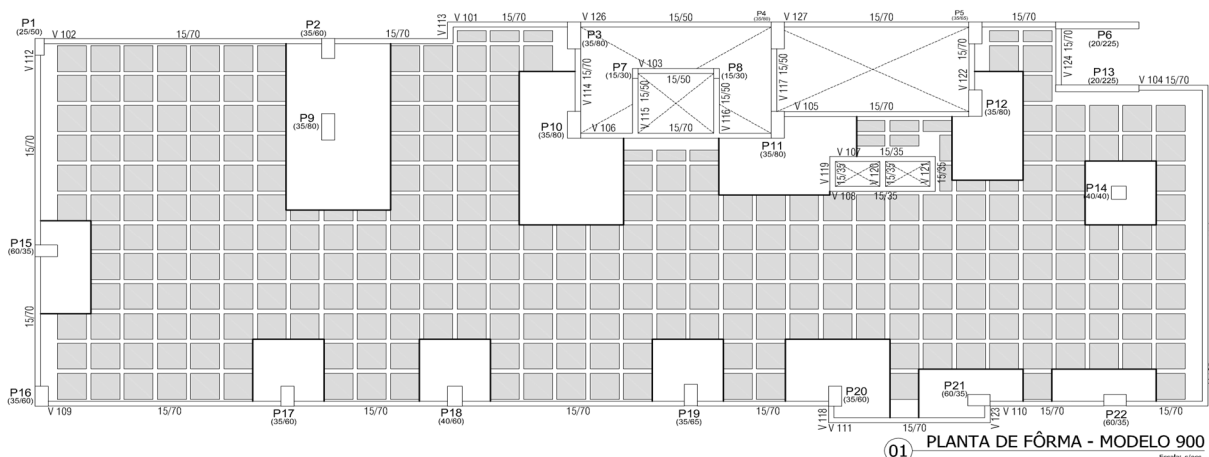
Fonte: Do autor, 2014.

Figura 10 – Laje nervurada: fôrma plástica modelo 800



Fonte: Do autor, 2014.

Figura 11 – Laje nervurada: fôrma plástica modelo 900



Fonte: Do autor, 2014.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Realizado o lançamento e processamento de todos os modelos estruturais, procedeu-se a compilação dos resultados apresentados pelo *software*. Na sequência são mostrados e discutidos esses resultados. Cabe salientar que esses dados são para a planta baixa utilizada como modelo, mas podem ser um indicador para novos estudos.

#### 3.1 VOLUME DE CONCRETO

A Tabela 4 apresenta o volume de concreto utilizado nos maciços e no restante das lajes para cada modelo de cubeta.

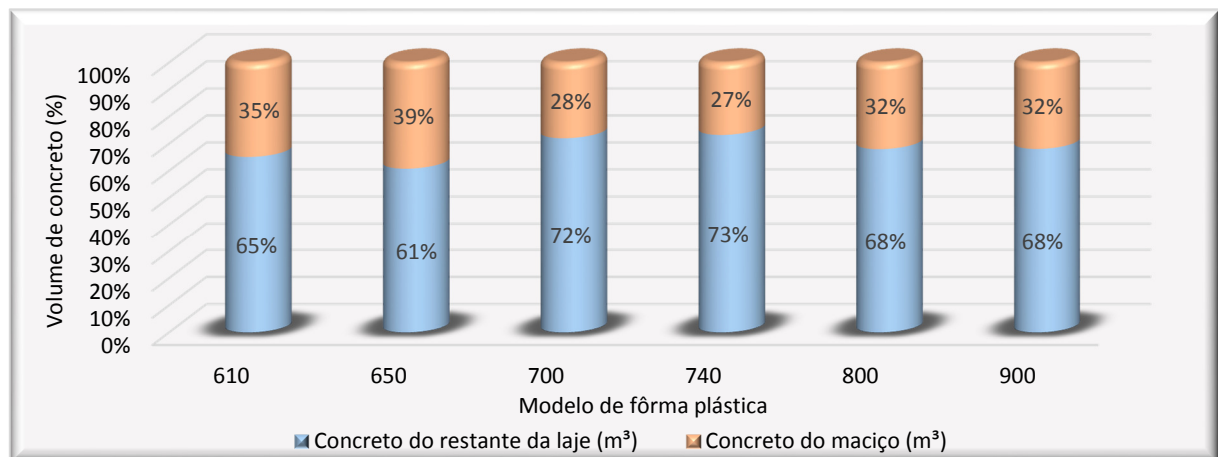
Tabela 4 – Distribuição do volume de concreto

Modelo	Volume de concreto do maciço (m <sup>3</sup> )	Volume de concreto do restante da laje (m <sup>3</sup> )	Volume Total (m <sup>3</sup> )	Percentual em relação ao menor valor
610	20,67	38,69	59,36	+9,3%
650	21,26	33,04	54,30	-
700	16,50	42,63	59,13	+8,8%
740	17,17	47,19	64,36	+18,5%
800	18,79	40,04	58,83	+8,3%
900	20,32	43,48	63,80	+17,5%

Fonte: Do autor, 2014.

Observa-se que o modelo 650 obteve o maior volume de concreto na região dos maciços, mas em contrapartida obteve o menor valor no restante da laje, resultando em um menor consumo de concreto entre os modelos. Três modelos tiveram seus percentuais semelhantes, o modelo 610 (9,3%), 700 (8,8%) e 800 (8,3%). Os maiores volumes foram do modelo 740 com 18,5% e o modelo 900 com 17,5%, superior ao 650. Os dados mostram que o valores dos volumes de concreto não tem um padrão de comportamento de acordo com o afastamento das nervuras, uma vez que as nervuras possuem espessuras diferentes. A Figura 12 exibe a distribuição do volume de concreto entre os maciços e o restante da laje.

Figura 12 – Distribuição do concreto entre maciços e restante da laje



Fonte: Do autor, 2014.

Analisando a distribuição do volume de concreto pode-se dizer que as nervuras e a capa de compressão consomem em média, 67,8% do concreto da laje e o maciço 32,2%, conseqüentemente. Destaque para os modelos 800 e 900 que obtiveram a mesma proporção, 68% no restante da laje e 32% no maciço.

### 3.2 QUANTIDADE DE AÇO

A Tabela 5 mostra a quantidade de aço utilizado nos maciços e nas nervuras para cada composição de fôrma plástica. A malha de retração não será considerada no quantitativo por ter o mesmo valor para todos os moldes.

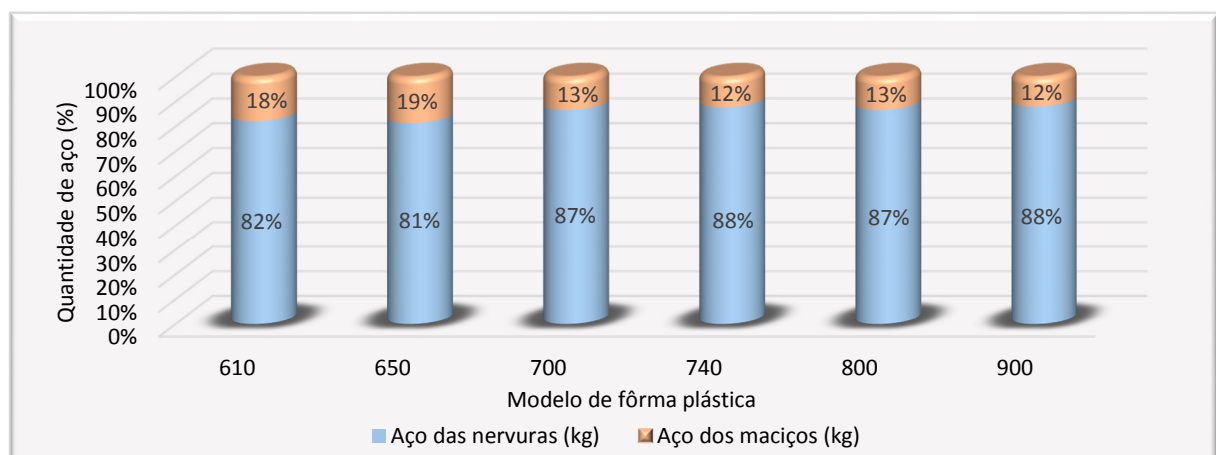
Tabela 5 – Distribuição da quantidade de aço

Modelo	Aço dos maciços (Kg)	Aço das nervuras (Kg)	Quantidade de Aço Total (Kg)	Percentual em relação ao menor valor
610	450	2081	2531	+8,3%
650	434	1903	2337	-
700	313	2045	2358	+0,90%
740	308	2209	2517	+7,7%
800	312	2035	2347	+0,42%
900	280	2063	2343	+0,26%

Fonte: Do autor, 2014.

Constata-se que três modelos obtiveram resultados muito próximos do menor valor (modelo 650), com variação inferior a 1%, são eles: modelo 700 (0,90%), 800 (0,42%) e 900 (0,26%). O modelo 610, mesmo tendo uma distância entre eixos próximo ao modelo 650, obteve um consumo superior de 8,3%. Analisando os dados pode-se dizer que para este estudo o afastamento dos eixos das nervuras interferiu no tamanho do maciço e conseqüentemente na quantidade de aço utilizada, diminuindo gradualmente, exceto o modelo 740 que possui um valor inferior ao seu seguinte (modelo 800). Em compensação as nervuras da laje não tiveram o mesmo comportamento. A Figura 13 apresenta a distribuição da quantidade de aço entre os maciços e as nervuras.

Figura 13 – Distribuição do aço entre maciços e nervuras



Fonte: Do autor, 2014.

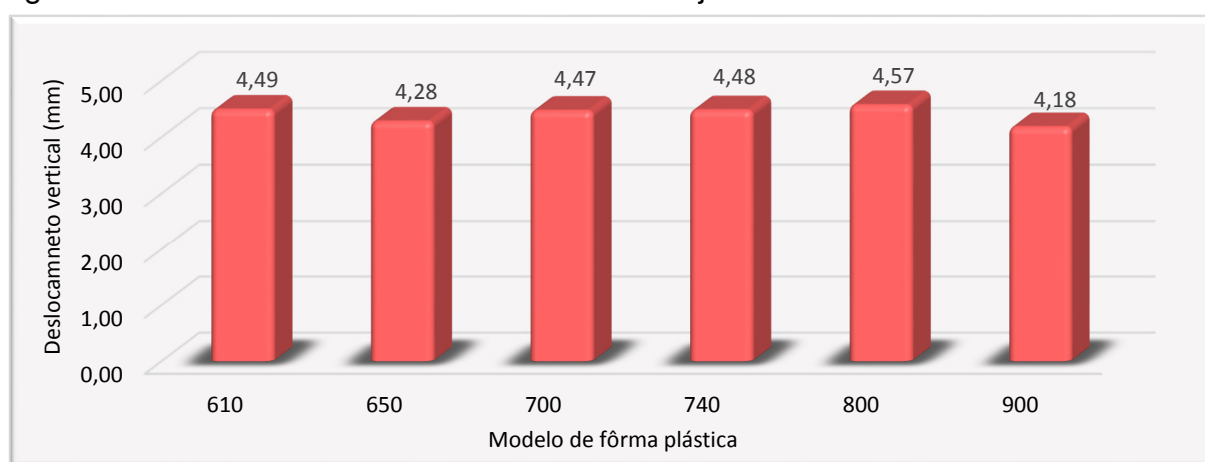
Analisando a distribuição do aço pode-se concluir que as nervuras consomem, em média, 85,5% do aço da laje e o maciço 14,5%, conseqüentemente. Destaque para

os modelos 700 e 800 que obtiveram a mesma proporção, 87% na nervura e 13% no maciço e também os modelos 740 e 900 com 88% na nervura e 12% no maciço.

### 3.3 DESLOCAMENTO MÁXIMO

A Figura 14 exibe os resultados dos deslocamentos máximos verticais para cada composição de cubeta.

Figura 14 – Deslocamento máximo vertical das lajes nervuradas



Fonte: Do autor, 2014.

Percebe-se que nenhuma composição ultrapassou o limite determinado por norma (32,4mm), ficando em média, 86,4 % abaixo do mesmo. O menor valor obtido foi o do modelo 900 com 4,18 mm e o maior está no modelo 800 com 4,57 mm, percentualmente essa diferença significa que o modelo 800 está 9,3% acima do 900.

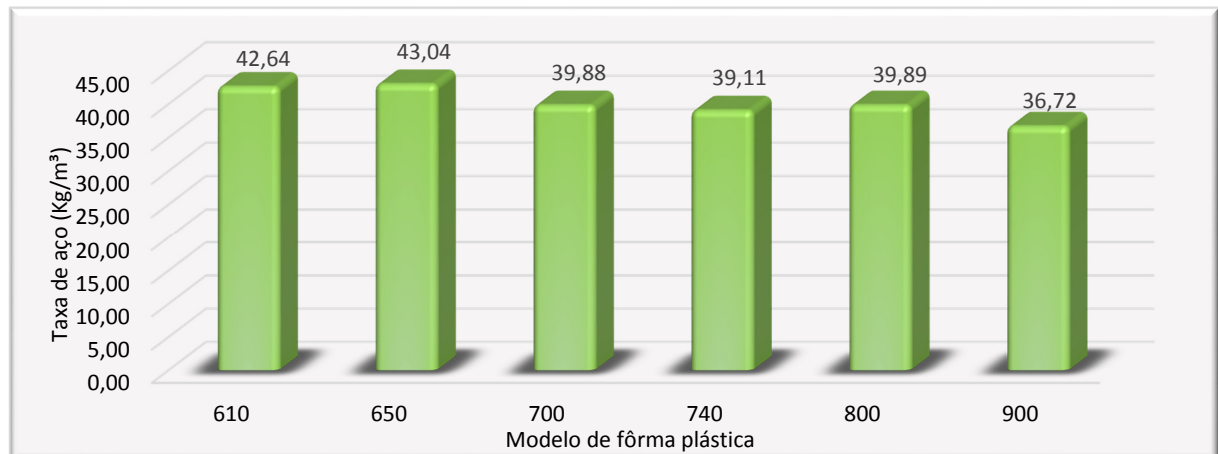
### 3.4 ÍNDICES RELATIVOS

Os índices relativos são os dados mais visados pelo mercado da construção civil, os mesmos proporcionam uma visão geral do consumo dos materiais e possibilitam a comparação com a literatura existente e outras obras semelhantes.

### 3.4.1 Índice do consumo de aço

O primeiro índice analisado é a taxa de aço em relação ao volume de concreto. A Figura 15 mostra os resultados obtidos para cada composição de fôrma plástica.

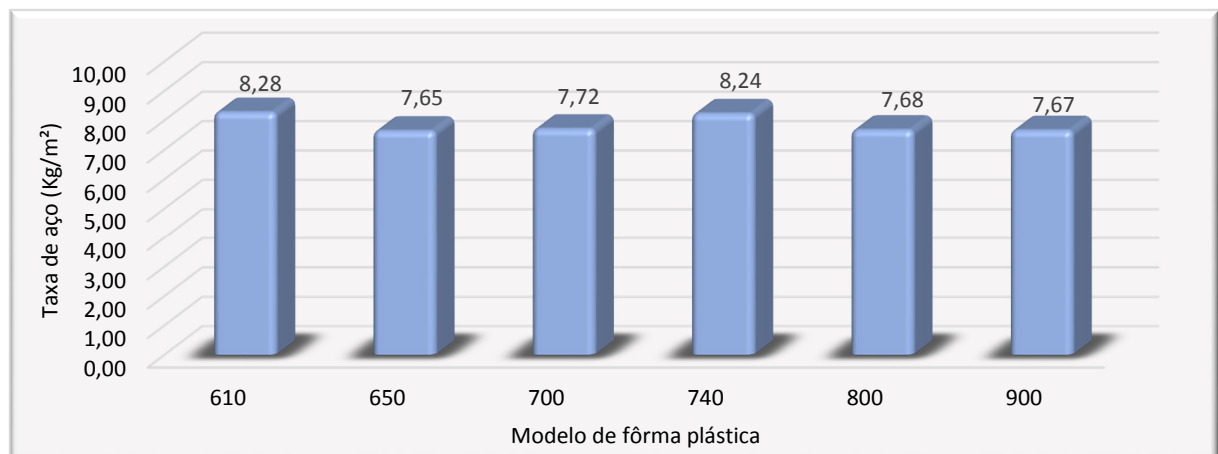
Figura 15 – Taxa de aço (Kg/m<sup>3</sup>)



Fonte: Do autor, 2014.

Observa-se que o modelo 900 tem a menor taxa de aço (36,72 Kg/m<sup>3</sup>) e o 650 a maior, (43,04 Kg/m<sup>3</sup>), uma diferença de 17,2% do primeiro. Nota-se que os modelos 700 e 800, possuem valores praticamente iguais e um pouco abaixo o modelo 740 com 1,97% menor. A média da taxa analisada foi de 40,21 Kg/m<sup>3</sup>. A Figura 16 apresenta a quantidade de aço utilizada em relação a área estrutural da laje (305,50 m<sup>2</sup>).

Figura 16 – Taxa de aço (Kg/m<sup>2</sup>)



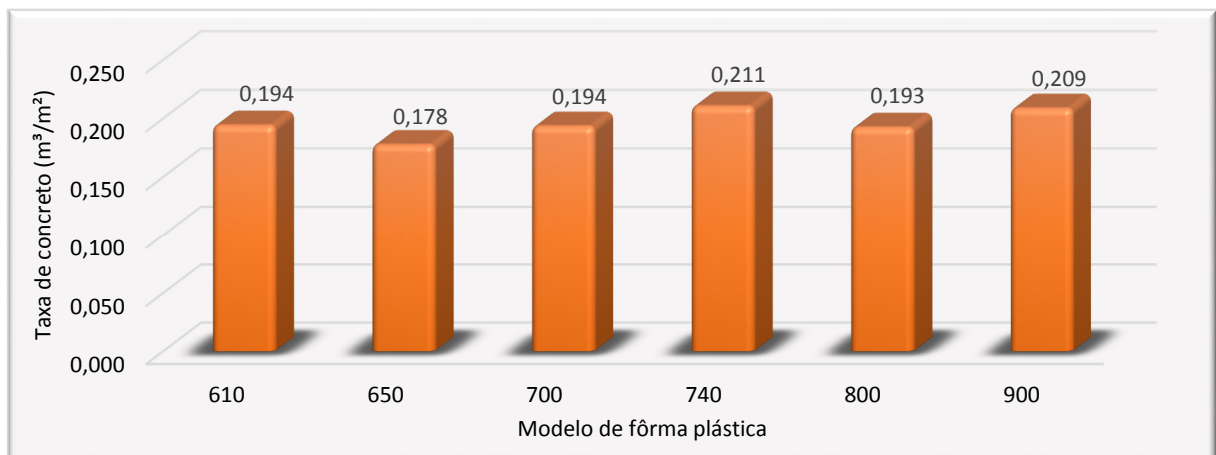
Fonte: Do autor, 2014.

Observa-se que para esta taxa o modelo 650 obteve o menor valor, mas os modelos 900, 800 e 700, alcançaram uma variação menor que 1% acima do primeiro. O modelo 610 tem o maior consumo por metro quadrado, com 8,2% a mais que o 650. A média geral desta taxa ficou em 7,87 Kg/m<sup>2</sup>.

### 3.4.2 Índice do consumo de concreto

A Figura 17 mostra as taxas de consumo de concreto em relação a área estrutural da laje.

Figura 17 – Taxa de consumo de concreto (m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>)



Fonte: Do autor, 2014.

O menor índice avaliado pertence ao modelo 650 e o maior ao 740, percentualmente essa diferença significa que o modelo 740 está 18,5% acima do 650. A taxa média de consumo ficou em 0,197 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>. Destaca-se que os modelos 700 e 610 tiveram o mesmo consumo (0,194 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>). A Tabela 6 compara o consumo de concreto calculado e o fornecido pelo fabricante das fôrmas plásticas, que não inclui o maciço em seus valores. Os dados salientam a interferência do maciço no resultado final do índice.

Tabela 6 – Comparação de índice de consumo de concreto

Modelo	Taxa de concreto Calculado (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> )	Taxa de concreto ATEX (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> )	Acréscimo (%)
610	0,194	0,157	19,2%
650	0,178	0,135	24,0%
700	0,194	0,165	14,8%
740	0,211	0,184	12,7%
800	0,193	0,159	17,4%
900	0,209	0,173	17,2%

Fonte: Do autor, 2014.

Observa-se que o maciço acrescenta, em média, 17,6% no valor da taxa de concreto. O maior acréscimo foi o modelo 650 com 24,0% e o menor o modelo 740 com 12,7%.

### 3.5 FÔRMAS

A Tabela 7 mostra a quantidade de fôrmas plásticas para cada configuração de laje nervurada.

Tabela 7 – Quantidade de cubetas

Modelo	Quantidade de cubetas	
	Inteira	Meia
610	627	69
650	529	67
700	490	53
740	447	43
800	363	48
900	278	20

Fonte: Do autor, 2014.

Com o aumento da distância entre nervuras pode-se dizer que a quantidade de fôrmas inteiras tende a diminuir. Comparando o maior valor, modelo 650, com o menor valor, modelo 900, obtêm-se uma diferença de 349 fôrmas, uma queda de 44,3%.

### 3.6 CUSTO FINAL

O objetivo deste item, é identificar a proporcionalidade de cada insumo no valor final da laje, para isto alguns critérios foram estabelecidos.

A mão de obra e o sistema de cimbramento não serão orçados, sendo assim o suporte que sustenta as cubetas também não será considerado. A base de preços unitários do concreto e aço é composta por uma pesquisa com fornecedores próximos ao local da edificação, obtendo-se posteriormente uma média de preço para cada insumo. O valor unitário de compra dos modelos das cubetas foram fornecidos pela fabricante. Este valor não difere as cubetas inteiras das meias cubetas, sendo assim, seus valores são iguais. Um detalhe a ser considerado é que as cubetas são reutilizáveis, portanto o seu preço é dividido entre as demais lajes de um edifício, analisando o projeto arquitetônico original identifica-se 7 pavimentos com o mesmo formato estrutural, então o preço total das cubetas está distribuído para 7 lajes. O frete das fôrmas plásticas não será incluso no orçamento. A Tabela 8 e 9 mostram os valores unitários que serviram para realizar o custo final.

Tabela 8 – Valores da pesquisa de aço e concreto

Aço CA-50 e CA-60 barras de 12 metros		Concreto fck 30MPa usinado e bombeado	
Fornecedor	Preço (R\$/kg)	Fornecedor	Preço (R\$/m³)
A	2,73	A	275
B	2,52	B	270
C	3,24	C	285
Média	2,83	Média	276,67

Fonte: Do autor, 2014.

Tabela 9 – Preço unitário das fôrmas plásticas

Modelo	Preço unitário	Modelo	Preço unitário
610	R\$ 86,00	740	R\$ 168,00
650	R\$ 67,00	800	R\$ 228,00
700	R\$ 136,00	900	R\$ 355,00

Fonte: Atex, outubro de 2014.

Tendo os valores definidos e as quantidades expostas nas seções anteriormente, a Tabela 10 apresenta os valores totais dos materiais estudados no trabalho, para cada configuração.

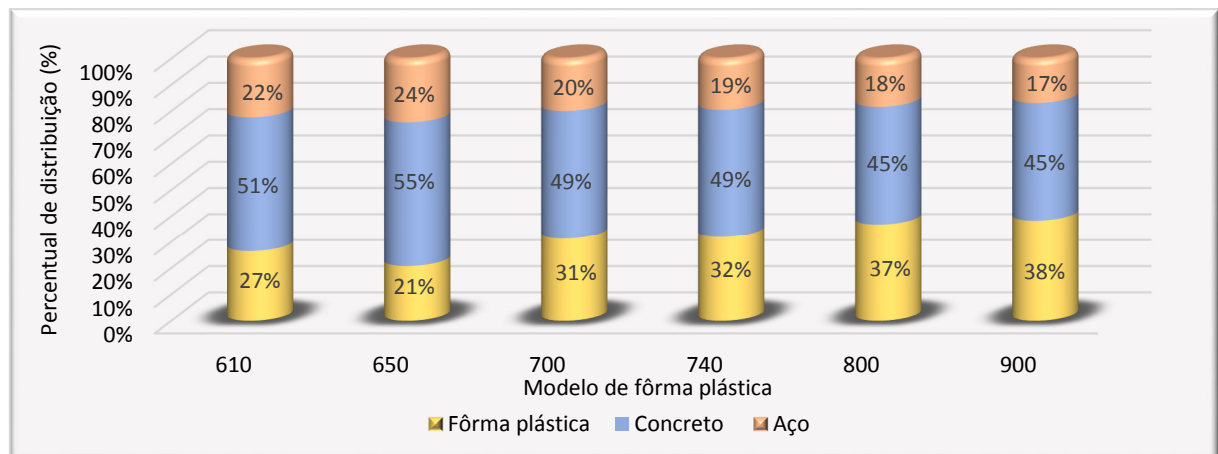
Tabela 10 – Custo total discriminado para cada modelo de laje nervurada

Modelo	Aço	Concreto	Fôrma plástica	TOTAL
610	R\$ 7.162,73	R\$ 16.422,93	R\$ 8.550,86	R\$ 32.136,52
650	R\$ 6.613,71	R\$ 15.023,00	R\$ 5.704,57	R\$ 27.341,28
700	R\$ 6.673,14	R\$ 16.359,30	R\$ 10.549,71	R\$ 33.582,15
740	R\$ 7.123,11	R\$ 17.806,27	R\$ 11.760,00	R\$ 36.689,38
800	R\$ 6.642,01	R\$ 16.276,30	R\$ 13.386,86	R\$ 36.305,17
900	R\$ 6.630,69	R\$ 17.651,33	R\$ 15.112,86	R\$ 39.394,88

Fonte: Do autor, 2014.

Observa-se que os valores do aço possuem uma variação do menor ao maior de 8,3% e o concreto 18,5%. A maior variação está nas cubetas com 164,9%. Observando o valor total, o menor custo é o modelo 650, tendo como diferencial o preço unitário das fôrmas, consideravelmente mais barato que os outros modelos. A Figura 18 mostra os percentuais que cada insumo participa no valor final da laje nervurada de cada configuração.

Figura 18 – Distribuição do custo das lajes nervuradas



Fonte: Do autor, 2014.

Observa-se que o valor final de uma laje nervurada com fôrmas plásticas é composto, em média, por 49% de concreto, 20% de aço e 31% de cubeta.

#### 4.CONCLUSÕES

As análises realizadas considerando o consumo de concreto, aço e o deslocamento vertical máximo, para os modelos adotados neste trabalho, apontaram que a laje

nervurada configurada com modelo de cubeta 650 obteve os melhores resultados. Apresentou o menor consumo de concreto e aço, além de sua fôrma ter o menor preço unitário, fatores estes que reduziram o custo final, em média, 34,2% em relação aos outros modelos estudados.

Devido as configurações das nervuras dos moldes das cubetas não possuírem uma igualdade, os resultados não tiveram um comportamento uniforme em relação a distância entre as nervuras.

Pode-se analisar a influência do maciço na taxa de concreto que em média acrescenta 17,6% no valor fornecido pelo fabricante de cubetas, mas lembrando que este dado está diretamente ligado ao projeto modelo estudado, sendo necessário a ampliação do estudo para determinar uma taxa média de acréscimo.

Os índices relativos analisados atingiram valores médios para o aço de 40,21 Kg/m<sup>3</sup> e 7,87 Kg/m<sup>2</sup> e o concreto de 0,194 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>. Observando o resultado da distribuição do custo final pode-se dizer que o consumo de concreto é o que o projetista estrutural deve ter mais cuidado, por ser aproximadamente 50% do valor total. Um bom começo para diminuir este consumo é analisar o tamanho dos maciços que compõe a laje.

Portanto, como sugestão a trabalhos futuros, pode-se dar seguimento realizando as mesmas considerações estruturais para diferente plantas modelos arquitetônicas. Realizar os processos com outros modelos de fôrmas plásticas do mesmo fabricante ou de outro. Elaborar um orçamento prevendo o custo da mão de obra e diferentes processos construtivos e cimbramento existentes no mercado.

## 5. REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, A. T. **Análise de alternativas estruturais para edifícios em concreto armado**. 1999. 97 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.

ARAÚJO, José Milton. **Curso de Concreto Armado**. Ed. Dunas. 2<sup>a</sup>ed. Vol. 4. Rio Grande, RS: 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118**: Projeto de estruturas de concreto: procedimento. Rio de Janeiro, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6120**: Cargas para o cálculo de estruturas de edificações. Rio de Janeiro, 1980.

CARVALHO, M. A. de. **Análise comparativa estrutural e econômica entre as lajes maciças, nervurada treliçada e nervurada com cuba plástica em um edifício de 10 pavimentos.** 2012. 79 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade Estadual de Feira de Santana, Feira de Santana.

CARVALHO, Roberto Chust; PINHEIRO, Libânio Miranda. **Cálculo e detalhamento de estruturas usuais de concreto armado.** Ed. Pini. 2ªed. Vol. 2. São Paulo, SP: 2009.

VITALLI, L. **Estudo comparativo entre lajes nervuradas com diferentes materiais de enchimento.** 2010. 62 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil), Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma.