



*Projeto e Cálculo Estrutural*  
*Parecer Técnico de estrutura*  
*Gerenciamento de Projetos e obras*  
*Tel: 21-22908637 | 91952256*

Relatório Técnico.  
**Análise de sistemas de lajes.**

Interessado  
**ARCTEC - Arquitetura, Construções e Tecnologia.**  
Rua Boulevard 28 de Setembro, 389, sala 312 – Vila Isabel.  
Rio de Janeiro

Zenildo Ferreira de Oliveira

Junho, 2005.

### **1 – ESCOPO.**

Este estudo pretende estabelecer uma relação entre os índices de consumo de materiais (concreto, aço e forma) e os respectivos custos dos sistemas estruturais em laje maciça e lajes nervuradas de concreto armado.

Para análise serão adotadas lajes moduladas para relação entre vãos de  $L/l = 1.0 ; 1.5 ; 2.0$ ; onde “L” é o vão maior e “l” o vão menor.

### **2- CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS DA ESTRUTURA.**

Para o estudo foi considerado hipoteticamente um edifício residencial com dez pavimentos tipo, com um pé - direito estrutural (altura de piso a piso) igual a 3,00 m, lajes moduladas em 9 (nove) vãos de: 6,00 X 6,00m ( $L/l = 1.0$ ); 6,00 X 9,00 m ( $L/l = 1.5$ ); 6,00 X 12,00m ( $L/l = 2.0$ ). Entre os pilares foram adotados os vão:6,00 x 6,00m; 6,00x 4,50 m e 6,00x 6,00m respectivamente. Ver plantas de forma em anexo.

Como o estudo pretende elaborar um comparativo quantitativo e de custo por  $m^2$  entre a utilização dos tipos de lajes. Os pilares e vigas foram pradonizados, não sendo estudados a possibilidade de redução de seção pela utilização dos sistemas e da restrição quanto as suas dimensões. Os pilares não sofrerão redução da seção ao longo de sua prumada. O caso das lajes nervuradas com cubas retangulares foi adotado a eliminação das vigas internas.

### **3- CONSIDERAÇÕES PARA CÁLCULO.**

O estudo segue as diretrizes da NBR – 6118/2003.

Adotado a classe de agressividade ambiental II (moderada – Urbana)

Classe do concreto – C 25 para todos os elementos estruturais, conforme tabela 7.1 da NBR 6118/2003.

Cobrimento nominal: laje = 2,5 cm, pilares e vigas = 3,0 cm.

Massa específica para o concreto armado de  $2.500 \text{ kg/m}^3$ .

Tensão admissível do terreno de  $2.0 \text{ kg/m}^2$  a uma profundidade de 2.0 m.

*Zenildo Ferreira de Oliveira*  
*Rua Milton nº 114 - Ramos - RJ.*  
*zenildo@glabo.com | zenildo.Oliveira@gmail.com*



### **3.1. Cargas.**

O estudo segue as diretrizes da NBR – 6120/1980.

Sobrecarga para edifício residencial de 1.50 kn/m<sup>2</sup>.

Para o estudo foi adotado uma carga permanente de alvenaria igual a 1.50 kn/m<sup>2</sup> e uma carga de 1.00 kn/m<sup>2</sup> para revestimento.

### **3.2. Precisão do modelo numérico empregado.**

O estudo foi elaborado empregando o programa comercial Cypecad, para dimensionamento de estruturas de concreto armado.

## **4. DESCRIÇÃO DAS ESTRUTURAS.**

A estrutura convencional em laje maciça é aquela estrutura do tipo laje apoiada em vigas com a utilização dos pilares para transporte das cargas às fundações. Apesar de não ser um sistema aconselhável aos vãos utilizados no nosso estudo devido ao seu peso próprio, esse sistema foi adotado como referência devido ser o mais utilizado.

A estrutura convencional com lajes nervuradas é um sistema articulado plano, formado pelo cruzamento de pequenas vigotas, com afastamento menor que 1,10m, levando em consideração o piso como colaborante na resistência à flexão das vigas, denominadas nervuras, com objetivo de obter maiores distâncias entre os eixos dos pilares.

serão adotadas duas opções para esse tipo de estrutura:

- As lajes nervuradas com a utilização de cubas retangulares removíveis invertidas de polipropileno, serão utilizadas as formas de dimensões 60X60X15 cm, com altura total de laje igual a 20cm.



**Figura 1-** Moldes plásticos (cumbucas) para lajes nervuradas. Fonte: Atex..

- As lajes nervuradas com a utilização de cubas cilíndricas invertidas metálicas – REDUZCON, é uma peça única que apoiada em dois pontos forma um conjunto de barrote semi-cilíndrico. Será adotado o modelo BRC 130 – capa 4 cm, com as dimensões 26 X 112 x 13 cm, com altura total de laje igual a 17 cm.



*Projeto e Cálculo Estrutural*  
*Parecer Técnico de estrutura*  
*Gerenciamento de Projetos e obras*  
*Tel: 21-22908637 | 91952256*



**Figura 2-** Moldes metálico (cumbucas) para lajes nervuradas. Fonte: REDUZCON..

Serão adotadas vigas nos bordos do pavimento devido às vantagens que esse sistema traz.

As características geométricas dos sistemas de lajes nervuradas se encontram nos catálogos dos fabricantes das cubas.





## 5. RESULTADOS

### 5.1. Vão de laje igual a 6,00 X 6,00m (L/l= 1.0).

Dados geométricos adotados para pilares e vigas.

Seção de Pilares: 40 X 40 cm.

Seção de Vigas: 30 X 60 cm.

TABELA 1 - CONSUMO TOTAL DE MATERIAIS					
10 unid.		Area Total	3367,20 m <sup>2</sup>		
VALORES TOTAIS					
Elementos	altura da laje (cm)	Formas (m <sup>2</sup> )	Aço (Kg)	Concreto (m <sup>3</sup> )	Carga na fundação (Kn)
Laje	13,00	2.939,60	26.021,00	382,20	36.770,76
Viga		1.748,70	12.349,00	264,00	
Pilares		659,20	8.025,00	65,92	
<b>TOTAL</b>		<b>5.347,50</b>	<b>46.395,00</b>	<b>712,12</b>	
laje	20,00	3.140,20	23.859,00	329,50	29.760,05
Vigas		871,30	10.175,46	132,00	
Pilares		687,20	6.804,00	68,72	
<b>TOTAL</b>		<b>4.698,70</b>	<b>40.838,46</b>	<b>530,22</b>	
Laje	17,00	3.040,10	19.756,00	288,80	28.751,40
Vigas		1.279,70	8.673,00	198,00	
Pilares		659,20	6.337,00	65,92	
<b>TOTAL</b>		<b>4.979,00</b>	<b>34.766,00</b>	<b>552,72</b>	

TABELA 2 - INDICE DE CONSUMO POR M <sup>2</sup>					
Tipo de Laje	Altura da laje (cm)	Formas (m <sup>2</sup> )	Aço (kg)	Concreto (m <sup>3</sup> )	Carga na Fundação (kn)
Maciça	13,0	1,59	13,78	0,21	10,92
Nervurada c/cubetas plásticas	20,0	1,40	12,13	0,16	8,84
		-12%	-12%	-24%	-19%
Nervuradas c/ forma Reduzcon	17,0	1,48	10,32	0,16	8,54
		-7%	26%	-24%	-22%



## 5.2 Vão de laje igual a 6,00 X 9,00m ( $l_y/l_x = 1.5$ ).

Dados geométricos adotados para pilares e vigas.

Seção de Pilares: 40 X 40 cm.

Seção de Vigas: 30 X 60 cm.

TABELA 4 - CONSUMO TOTAL DE MATERIAIS - L/I = 1.5						
Pavimentos		10 unid.	Area Total	5023,14 m <sup>2</sup>		
VALORES TOTAIS						
Tipo de Laje	Elementos	altura da laje (cm)	Formas (m <sup>2</sup> )	Aço (Kg)	Concreto (m <sup>3</sup> )	Carga na fundação (Kn)
Maciça	Laje	14,00	4.478,00	40.031,00	626,90	50.305,37
	Viga		2.128,60	13.419,00	329,20	
	Pilares		1.164,40	10.861,00	117,74	
<b>TOTAL</b>			<b>7.771,00</b>	<b>64.311,00</b>	<b>1.073,84</b>	
Nervurada c/ cubetas plásticas	laje	20,00	4.725,20	41.856,67	540,00	44.587,71
	Vigas		1.074,60	5.858,00	164,40	
	Pilares		1.223,60	9.991,00	122,36	
<b>TOTAL</b>			<b>7.023,40</b>	<b>57.705,67</b>	<b>826,76</b>	
Nervurada com forma Reduzcon	Laje	17,00	4.578,40	29.463,00	435,00	41.892,91
	Vigas		1.668,10	9.703,00	262,80	
	Pilares		1.159,00	9.030,00	116,44	
<b>TOTAL</b>			<b>7.405,50</b>	<b>48.196,00</b>	<b>814,24</b>	

TABELA 5 - INDICE DE CONSUMO POR M <sup>2</sup>					
Tipo de Laje	Altura da laje (cm)	Formas (m <sup>2</sup> )	Aço (kg)	Concreto (m <sup>3</sup> )	Carga na Fundação (kn)
Maciça	14,0	1,55	12,80	0,21	10,01
Nervurada c/cubetas plásticas	20,0	1,40	11,49	0,16	8,88
		<b>-10%</b>	<b>-11%</b>	<b>-24%</b>	<b>-11%</b>
Nervuradas c/ forma Reduzcon	17,0	1,47	9,59	0,16	8,34
		<b>-5%</b>	<b>-26%</b>	<b>-24%</b>	<b>-17%</b>



### 5.1 Vão de laje igual a 6,00 X 12,00m (ly/lx = 2.0).

Dados geométricos adotados para pilares e vigas.

Seção de Pilares: 40 X 40 cm.

Seção de Vigas: 30 X 60 cm.

TABELA 7 - COMPARAÇÃO ENTRE O CONSUMO TOTAL DE MATERIAIS						
Pavimentos		10 unid.	Area Total	6670,20 m <sup>2</sup>		
VALORES TOTAIS						
Tipo de Laje	Elementos	altura da laje (cm)	Formas (m <sup>2</sup> )	Aço (Kg)	Concreto (m <sup>3</sup> )	Carga na fundação (Kn)
Maciça	Laje	16,00	6.021,80	56.625,00	963,50	67.589,20
	Viga		2.535,10	19.014,00	393,60	
	Pilares		1.153,60	18.316,00	115,36	
	<b>TOTAL</b>		<b>9.710,50</b>	<b>93.955,00</b>	<b>1.472,46</b>	
Nervurada c/ cubetas plásticas	laje	20,00	6.322,60	60.333,89	651,00	56.443,75
	Vigas		1.308,70	7.758,00	196,80	
	Pilares		1.223,60	18.355,00	122,36	
	<b>TOTAL</b>		<b>8.854,90</b>	<b>86.446,89</b>	<b>970,16</b>	
Nervurada com forma Reduzcon	Laje	17,00	6.122,30	40.401,00	557,10	53.779,95
	Vigas		2.116,30	15.236,00	327,60	
	Pilares		1.153,60	11.915,00	115,36	
	<b>TOTAL</b>		<b>9.392,20</b>	<b>67.552,00</b>	<b>1.000,06</b>	



TABELA 8 - INDICE DE CONSUMO POR M <sup>2</sup>					
Tipo de Laje	Altura da laje (cm)	Formas (m <sup>2</sup> )	Aço (kg)	Concreto (m <sup>3</sup> )	Carga na Fundação (kn)
Maciça	15,0	1,46	14,09	0,22	10,13
Nervurada c/cubetas plásticas	20,0	1,33 <b>-9%</b>	12,96 <b>-8%</b>	0,15 <b>-32%</b>	8,46 <b>-16%</b>
Nervuradas c/ forma Reduzcon	17,0	1,41 <b>-3%</b>	10,13 <b>-28%</b>	0,15 <b>-32%</b>	8,06 <b>-20%</b>

## 6. ANALISE DOS CUSTOS

6.1 Vão de laje = 6,00 X 6,00m (ly/lx = 1.0).

TABELA 3 - CUSTO POR M <sup>2</sup>							
Tipo de Laje	Indice Formas (m <sup>2</sup> )	Valor forma (R\$/m <sup>2</sup> )	Indice Aço (kg)	Valor Aço (R\$/m <sup>2</sup> )	Indice Concreto (m <sup>3</sup> )	Valor concreto (R\$/m <sup>2</sup> )	Custo Total por m <sup>2</sup>
Maciça	1,59	30,00	13,78	4,00	0,21	200,00	145,05
Nervurada c/cubetas plásticas	1,40	30,00	12,13	4,00	0,16	200,00	121,87 <b>-16%</b>
Nervuradas c/ forma Reduzcon	1,48	30,00	10,32	4,00	0,16	200,00	118,49 <b>-18%</b>

6.2 Vão de laje = 6,00 X 9,00m (ly/lx = 1.5).



*Projeto e Cálculo Estrutural*  
*Parecer Técnico de estrutura*  
*Gerenciamento de Projetos e obras*  
*Tel: 21-22908637 | 91952256*

TABELA 6 - CUSTO POR M <sup>2</sup>							
Tipo de Laje	Indice Formas (m <sup>2</sup> )	Valor forma (R\$/m <sup>2</sup> )	Indice Aço (kg)	Valor Aço (R\$/m <sup>2</sup> )	Indice Concreto (m <sup>3</sup> )	Valor concreto (R\$/m <sup>2</sup> )	Custo Total por m <sup>2</sup>
Maciça	1,55	30,00	12,80	4,00	0,21	200,00	140,38
Nervurada c/cubetas plásticas	1,40	30,00	11,49	4,00	0,16	200,00	120,82 -14%
Nervuradas c/ forma Reduzcon	1,47	30,00	9,59	4,00	0,16	200,00	115,03 -18%

6.3 Vão de laje = 6,00 X 12,00m ( $l_y/l_x = 2.0$ ).

TABELA 9 - CUSTO POR M <sup>2</sup>							
Tipo de Laje	Indice Formas (m <sup>2</sup> )	Valor forma (R\$/m <sup>2</sup> )	Indice Aço (kg)	Valor Aço (R\$/m <sup>2</sup> )	Indice Concreto (m <sup>3</sup> )	Valor concreto (R\$/m <sup>2</sup> )	Custo Total por m <sup>2</sup>
Maciça	1,46	30,00	14,09	4,00	0,22	200,00	144,17
Nervurada c/cubetas plásticas	1,33	30,00	12,96	4,00	0,15	200,00	120,76 -16%
Nervuradas c/ forma Reduzcon	1,41	30,00	10,13	4,00	0,15	200,00	112,74 -22%

## 7. DESLOCAMENTOS

Os deslocamentos são valores práticos utilizados para as verificações das deformações excessivas da estrutura. Abaixo um comparativo dos deslocamentos das estruturas analisadas.





<b>TABELA 10 - Deslocamentos</b>				
<b>Tipo de Laje</b>	<b>Flecha Máxima NBR 6118/03 cm</b>	<b>Vão 6X6 m cm</b>	<b>Vão 6X9 m cm</b>	<b>Vão 6X12 m cm</b>
Maciça	2,4	1,17	0,87	0,86
Nervurada c/cubetas	2,4	0,89	0,75	0,91
Nervuradas c/ forma Reduzcon	2,4	1,01	1,04	1,00

## 8. CONCLUSÃO

A estrutura convencional em laje maciça apresentou os maiores custos nas três relações de vãos, também um índice maior de carga por área de fundação. Esse sistema ainda é muito utilizado, tem que haver uma larga distribuição de vigas criando restrições para as futuras reformas e retrofits. A laje maciça utiliza muito o peso próprio do concreto não tirando partido da rigidez geométrica.

A estrutura convencional em lajes nervuradas com a utilização de forma em cubas invertidas retangulares nervuradas.

Apresentou uma economia média de 10,33% nas formas, 10,0% no aço e 27,66% no concreto em relação à laje maciça, além de uma redução de 17% da carga da edificação no solo. Nota-se que aumentando a relação de vãos os índices de economia aumentam, assim reduzindo os custos, sendo uma boa opção para os edifícios que não tem restrições aos vãos entre pilares, os custos indiretos para o sistema são: A flexibilidade da mudança de lay-out interno, a distribuição das instalações devido a ausência de vigas internas.

Esse sistema de laje apresenta uma dificuldade no contato com as alvenarias e (ou) divisórias, pois os espaços livres entre as nervuras são grandes e de formato irregular.

A estrutura convencional em lajes nervuradas com a utilização de forma em cubas invertidas cilíndricas.

Apresentou uma economia média de 5,% nas formas, 26% no aço e 26% no concreto em relação à laje maciça, além de uma redução de 18,3% da carga da edificação no solo. Nota-se que aumentando a relação de vãos a variação de economia mantém constante, essa opção tem um melhor custo no aço em relação às lajes nervuradas retangulares, um dos fatores para essa economia e a não utilização de ferragens adicional sobre as nervuras. Além das vantagens da utilização do sistema em relação a flexibilização dos espaços, o espaço entre as nervuras é pequeno e uniforme (em forma de arco) que pode facilmente ser preenchido, dando uma boa vedação e aperto na alvenaria, além de proporcionar menores alturas de laje.

Neste estudo não tem como objetivo de definir um sistema ideal, mas demonstrar a viabilidade dos diversos sistemas.

A estrutura econômica depende do modelo mais apropriado à arquitetura desejada, é importante que haja “bom senso” do arquiteto para viabilizar seus custos. De uma forma geral a laje tem



*Projeto e Cálculo Estrutural*  
*Parecer Técnico de estrutura*  
*Gerenciamento de Projetos e obras*  
*Tel: 21-22908637 | 91952256*

grande importância nos consumos, já que é a responsável pelos vãos principais nas estruturas modernas; no passado sob cada alvenaria havia uma viga e as lajes eram de baixa espessura.

O custo da mão de obra é um fator importante e crescente, então se faz necessário as reduções de formas reduzindo-se as vigas e pilares com maiores vãos. O uso de lajes planas é uma boa solução, porém compromete o contra-ventamento da estrutura. O uso de vigas principais conjugadas com uma laje nervurada apresenta uma boa solução para estruturas verticais e residências.



*Projeto e Cálculo Estrutural*  
*Parecer Técnico de estrutura*  
*Gerenciamento de Projetos e obras*  
*Tel: 21-2290.8637 | 9195.2256*

*Zenildo Ferreira de Oliveira*  
*Rua Milton nº 114 - Ramos - RJ.*  
[zenildo@iglobo.com](mailto:zenildo@iglobo.com) | [zenildo.Oliveira@gmail.com](mailto:zenildo.Oliveira@gmail.com)



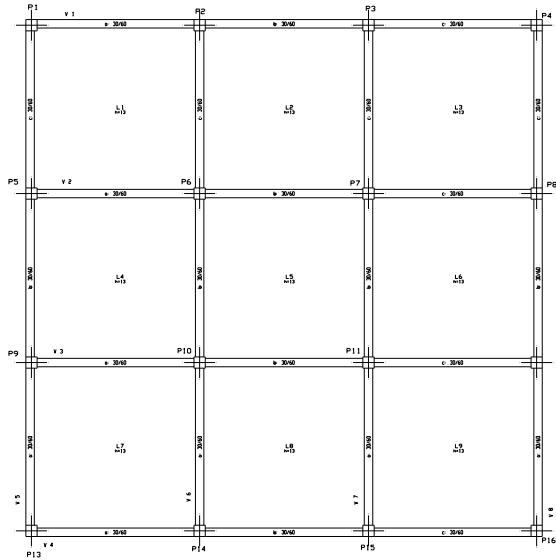
Vão de 6X 6 m

*Projeto e Cálculo Estrutural*  
*Parecer Técnico de estrutura*  
*Gerenciamento de Projetos e obras*  
*Tel: 21-2290.8637 | 9195.2256*

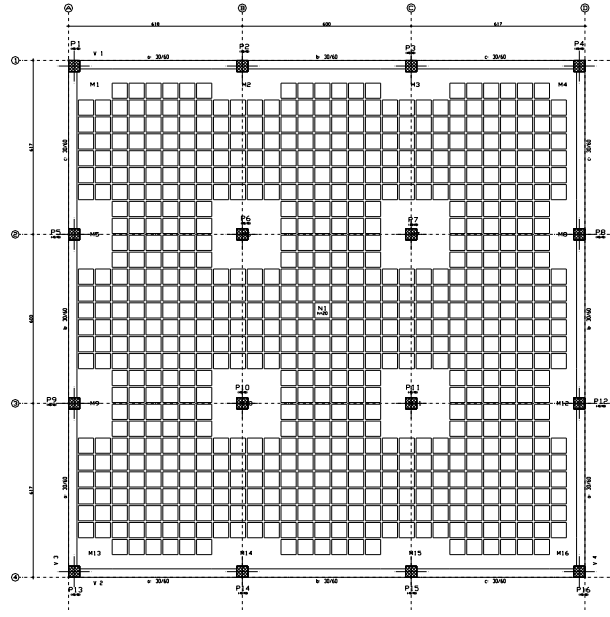
*Zenildo Terra de Oliveira*  
*Rua Milton n° 114 - Ramos - RJ.*  
*[zenildo@globo.com](mailto:zenildo@globo.com) | [zenildo.Oliveira@gmail.com](mailto:zenildo.Oliveira@gmail.com)*



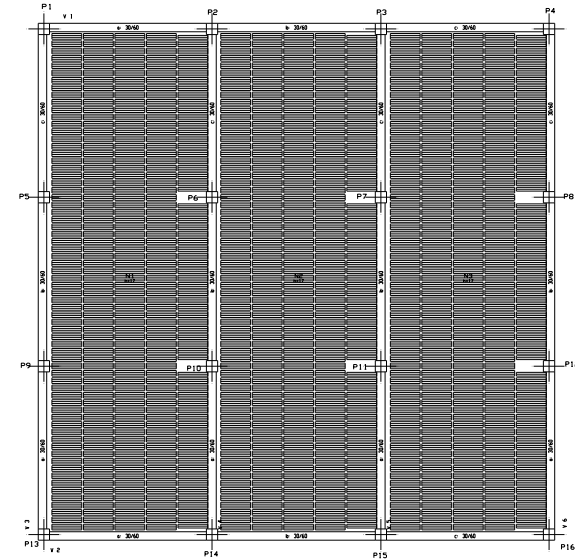
Projeto e Cálculo Estrutural  
Parecer Técnico de estrutura  
Gerenciamento de Projetos e obras  
Tel: 21-2290.8637 | 9195.2256



Laie Macica



Laje Cubas Retangulares



Laie Reduzcon

Zenildo Ferreira de Oliveira  
Rua Milton n.º 114 - Ramos - RJ.  
[zenildo@glabo.com](mailto:zenildo@glabo.com) | [zenildo.Oliveira@gmail.com](mailto:zenildo.Oliveira@gmail.com)



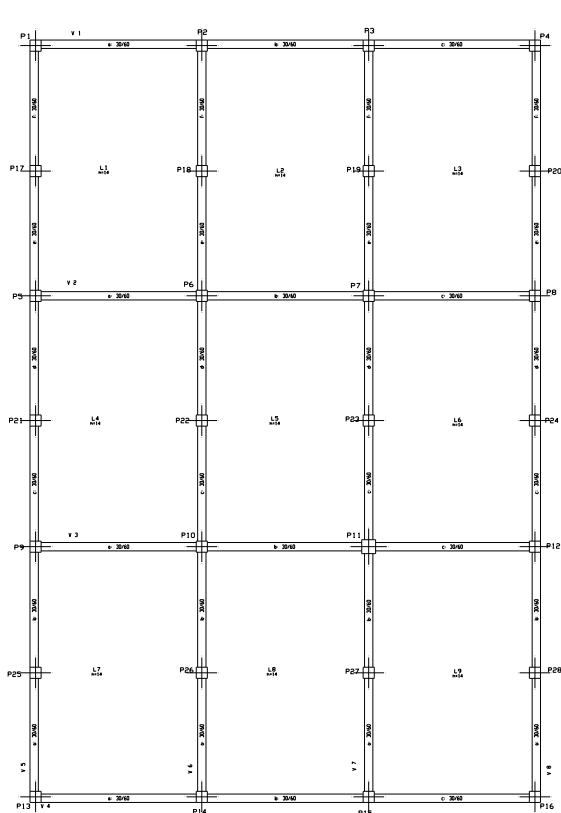
*Projeto e Cálculo Estrutural*  
*Parecer Técnico de estrutura*  
*Gerenciamento de Projetos e obras*  
*Tel: 21-2290.8637 | 9195.2256*

Vão de 6X9 m

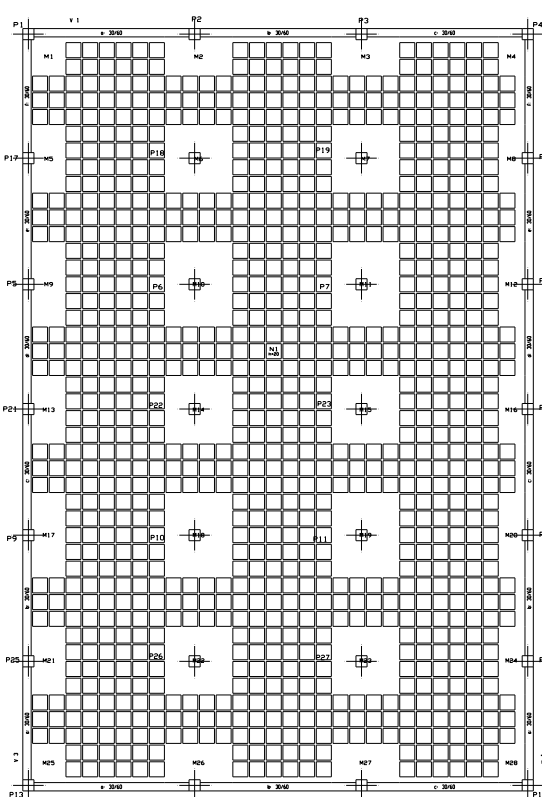
*Zenildo Terra de Oliveira*  
*Rua Milton n° 114 - Ramos - RJ.*  
*[zenildo@globos.com](mailto:zenildo@globos.com) | [zenildo.Oliveira@gmail.com](mailto:zenildo.Oliveira@gmail.com)*



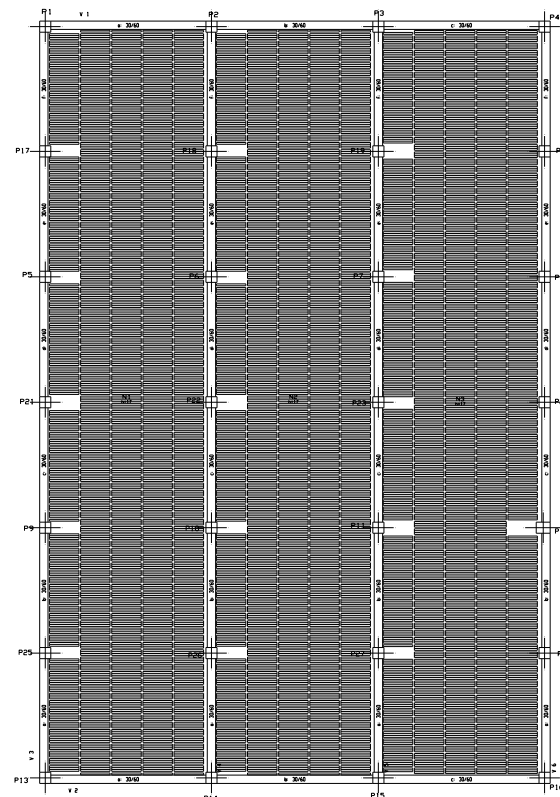
Projeto e Cálculo Estrutural  
Parecer Técnico de estrutura  
Gerenciamento de Projetos e obras  
Tel: 21-2290.8637 | 9195.2256



Laje Macica



Laje Cubas Retangulares



Laje Reduzcon

Zenildo Ferreira de Oliveira  
Rua Milton n° 114 - Ramos - RJ.  
[zenildo@globocom.com](mailto:zenildo@globocom.com) | [zenildo.Oliveira@gmail.com](mailto:zenildo.Oliveira@gmail.com)



Vão de 6X12 m

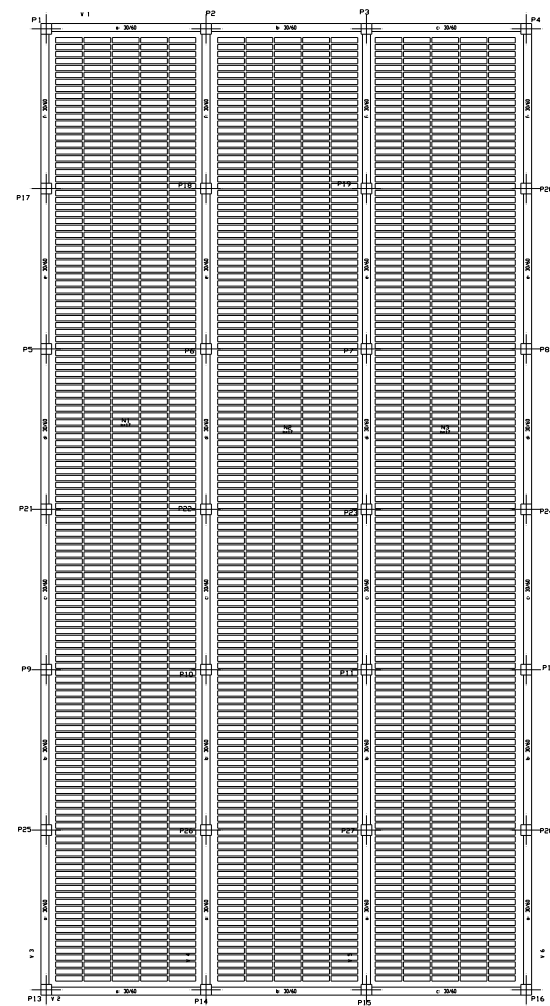
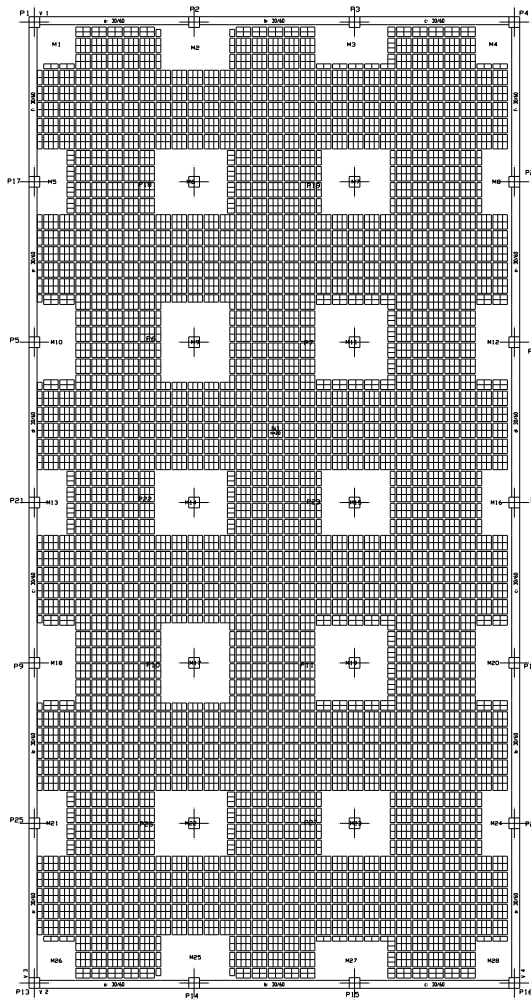
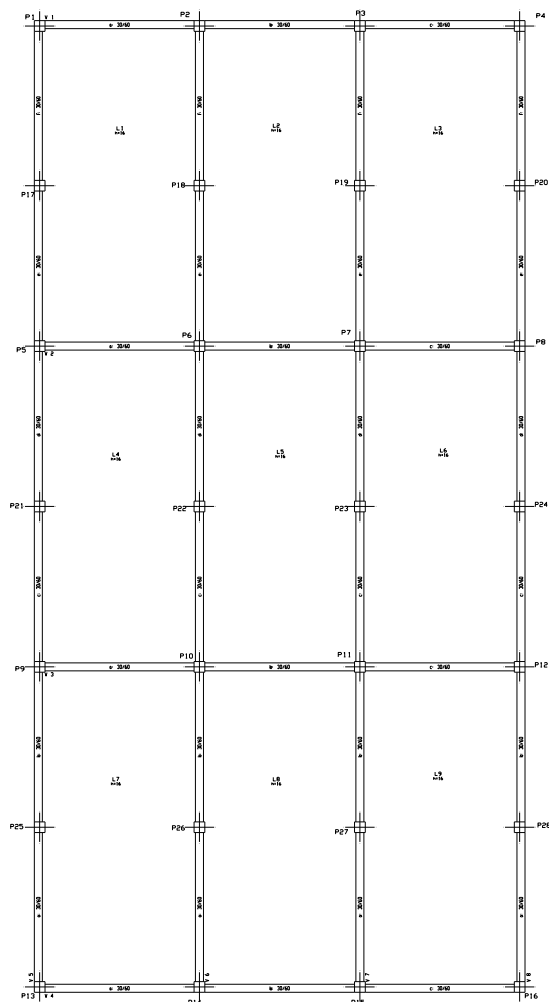
*Projeto e Cálculo Estrutural*  
*Parecer Técnico de estrutura*  
*Gerenciamento de Projetos e obras*  
*Tel: 21-2290.8637 | 9195.2256*

*Zenildo Terra de Oliveira*  
*Rua Milton n° 114 - Ramos - RJ.*  
*[zenildo@globo.com](mailto:zenildo@globo.com) | [zenildo.Oliveira@gmail.com](mailto:zenildo.Oliveira@gmail.com)*





*Projeto e Cálculo Estrutural*  
*Parecer Técnico de estrutura*  
*Gerenciamento de Projetos e obras*  
*Tel: 21-2290.8637 | 9195.2256*



*Zenildo Ferreira de Oliveira*  
*Rua Milton n.º 114 - Ramos - RJ.*  
*zenildo@glabo.com | zenildo.Oliveira@gmail.com*



Laje Maciça

*Projeto e Cálculo Estrutural*  
*Parecer Técnico de estrutura*  
*Gerenciamento de Projetos e obras*  
*Tel: 21-2290.8637 | 9195.2256*

Laje cubas Retangulares

Laje Reduzcon

*Zenildo Terra de Oliveira*  
*Rua Milton n° 114 - Ramos - RJ.*  
*[zenildo@globo.com](mailto:zenildo@globo.com) | [zenildo.Oliveira@gmail.com](mailto:zenildo.Oliveira@gmail.com)*