



# **CENTRO UNIVERSITÁRIO LUTERANO DE PALMAS**

*Recredenciado pela Portaria Ministerial nº 1.162, de 13/10/16, D.O.U nº 198, de 14/10/2016*  
*ASSOCIAÇÃO EDUCACIONAL LUTERANA DO BRASIL*

Eduardo Dias Marques

ANÁLISE COMPARATIVA DE UM EDIFÍCIO DE MÚLTIPLOS PAVIMENTOS, COM  
ADOÇÃO DE TRÊS DIFERENTES TIPOS DE LAJES EM CONCRETO ARMADO  
(MACIÇA, NERVURADA E TRELIÇADA)

Palmas – TO

2017

Eduardo Dias Marques

ANÁLISE COMPARATIVA DE UM EDIFÍCIO DE MÚLTIPLOS PAVIMENTOS, COM  
ADOÇÃO DE TRÊS DIFERENTES TIPOS DE LAJES EM CONCRETO ARMADO  
(MACIÇA, NERVURADA E TRELIÇADA)

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) II elaborado e apresentado como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil pelo Centro Universitário Luterano de Palmas (CEULP/ULBRA).

Orientador: Prof. Me. Roldão Pimentel de Araújo Junior.

Palmas – TO

2017

Eduardo Dias Marques

ANÁLISE COMPARATIVA DE UM EDIFÍCIO DE MÚLTIPLOS PAVIMENTOS, COM  
ADOÇÃO DE TRÊS DIFERENTES TIPOS DE LAJES EM CONCRETO ARMADO  
(MACIÇA, NERVURADA E TRELIÇADA)

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) II elaborado e  
apresentado como requisito parcial para obtenção do  
título de bacharel em Engenharia Civil pelo Centro  
Universitário Luterano de Palmas (CEULP/ULBRA).

Orientador: Prof. Me. Roldão Pimentel de Araújo Junior.

Aprovado em: 27 / 11 / 2017

BANCA EXAMINADORA

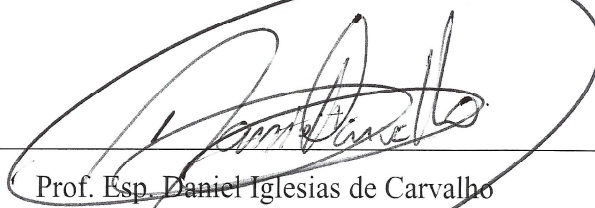


---

Prof. Me. Roldão Pimentel de Araújo Junior

Orientador

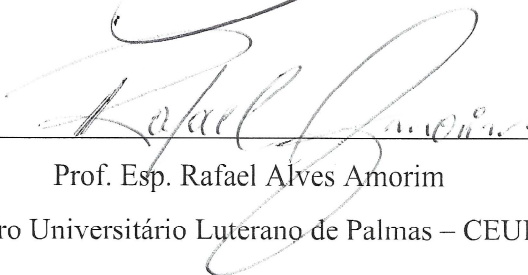
Centro Universitário Luterano de Palmas – CEULP



---

Prof. Esp. Daniel Iglesias de Carvalho

Centro Universitário Luterano de Palmas – CEULP



---

Prof. Esp. Rafael Alves Amorim

Centro Universitário Luterano de Palmas – CEULP

Palmas – TO

2017

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente, agradeço a Deus, pela minha saúde, pelo dom da vida, por todas as oportunidades que me foram concebidas ao longo deste curso e por ter me dado a oportunidade de concluir mais essa etapa da minha vida.

Agradeço ao Prof. Me. Roldão Pimentel de Araújo Junior, orientador deste trabalho, pela sua paciência, pela confiança, pelos conhecimentos a mim repassados para elaboração deste trabalho e ao longo deste curso.

A minha família, por toda preocupação, dedicação, por me apoiarem nesta escolha e pelos ensinamentos transmitidos.

A minha amiga e namorada Marielly, que sempre esteve ao meu lado no decorrer destes cinco anos, sendo compreensiva e me incentivando em todos os momentos.

A todos os meus amigos pela amizade, pelos momentos compartilhados e por sempre estarem ao meu lado.

Ao Centro Universitário Luterano de Palmas, por ter me possibilitado a realização deste sonho de cursar e concluir a graduação de bacharelado em engenharia civil.

Não são os grandes planos que são certo, são os pequenos detalhes.

*Stephen Kanitz*

## RESUMO

MARQUES, Eduardo Dias. **ANALISE COMPARATIVA DE UM EDIFÍCIO DE MÚLTIPLOS PAVIMENTOS, COM ADOÇÃO DE TRÊS DIFERENTES TIPOS DE LAJES EM CONCRETO ARMADO (MACIÇA, NERVURADA E TRELIÇADA)**. 2017. 54 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Centro Universitário Luterano de Palmas, Palmas, 2017.

Analisar a estrutura de edifícios de múltiplos pavimentos é de grande relevância no processo de conhecimento do comportamento da estrutura quando sujeita a diferentes situações de projeto e a diferentes sistemas construtivos, necessitando da análise detalhada e criteriosa da estabilidade global da estrutura e deslocamentos. Neste trabalho aborda-se as lajes maciças, nervuradas e treliçadas, analisando suas características, comportamento estrutural e consumo de materiais. As lajes nervuradas de concreto armado e as lajes treliçadas tem se tornado cada vez mais usuais em edifícios de múltiplos pavimentos que necessitam vencer grandes vãos e visam reduzir os custos com a diminuição do quantitativo de materiais utilizados para a execução da obra, sendo recomendadas por utilizarem diferentes matérias de enchimento, reduzindo o volume de concreto e, conseqüentemente, aumentando o espaçamento entre as armaduras, diminuindo o peso do aço total, tornando a estrutura mais leve. Todos os dimensionamentos foram executados utilizando o software de projeto estrutural Eberick v8, visando obter dados que possibilitasse a comparação dos modelos estruturais de laje estudados, baseados nas recomendações presentes principalmente na NBR 6118:2014 relacionadas a critérios de projeto como deslocamentos imediatos máximos, coeficiente gama-z e estado limite de serviço. Percebe-se, para as condições estudadas neste trabalho, que a variação dos volumes de concreto entre as lajes maciça e nervurada são relativamente baixas, porém a laje maciça teve 73% a mais de consumo de aço e 21% a mais de consumo de fôrmas em relação a laje nervurada, sendo a laje treliçada igualmente vantajosa a laje nervurada em relação ao consumo de aço e de fôrmas.

*Palavras-chave: lajes maciças; lajes nervuradas; lajes treliçadas; deslocamentos imediatos; coeficiente gama-; consumo de materiais.*

## ABSTRACT

MARQUES, Eduardo Dias. **COMPARATIVE ANALYSIS OF A MULTIPLE FLOOR BUILDING WITH ADOPTION OF THREE DIFFERENT TYPES OF SLABS IN REINFORCED CONCRETE (SOLID, RIBBED AND LATTICE JOIST)**. 2017. 54 f. TCC (Graduation) - Civil Engineering Course, Centro Universitário Luterano de Palmas, Palmas, 2017.

Analyzing the structure of multi-storey buildings is of great relevance in the process of knowing the behavior of the structure when subject to different design situations and to different construction systems, requiring a detailed and careful analysis of the overall stability of the structure and the displacements. In this work the solid, ribbed and latticed slabs are analyzed, analyzing their characteristics, structural behavior and material consumption. Ribbed slabs of reinforced concrete and latticed slabs have become increasingly common in multi-storey buildings that need to overcome large gaps and aim to reduce costs by reducing the quantity of materials used for the execution of the work and are recommended for using different filling materials, reducing the volume of concrete and, consequently, increasing the spacing between the reinforcements, reducing the weight of the total steel, making the structure lighter. All the designs were executed using the Eberick v8 structural design software, aiming to obtain data that allowed the comparison of the studied structural models of slab based on the recommendations present mainly in NBR 6118: 2014 related to design criteria such as maximum immediate displacements, gamma-z coefficient and service limit state. It can be seen that, for the conditions studied in this work, the variation of the concrete volumes between the solid and ribbed slabs is relatively low, however, the solid slab had 73% more steel consumption and 21% more forms consumption in relation to the ribbed slab, the latticed slab being equally advantageous to the ribbed slab in relation to the consumption of steel and of forms.

**Keywords:** solid slabs; ribbed slabs; latticed slabs; immediate displacements; gamma-z coefficient; consumption of materials.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Funções estruturais das lajes (FRANCA & FUSCO, 1997).....	16
Figura 2: Corte esquemático de laje maciça.....	18
Figura 3: Corte esquemático de laje nervurada simples (ARAÚJO, 2003, p144).....	18
Figura 4: Lajes nervuradas com moldes plásticos.....	19
Figura 5: Nervura da laje treliçada.....	21
Figura 6: Cobrimento da armadura.....	22
Figura 7: Planta baixa Edifício Dirceu Borges.....	31
Figura 8: Locação das lajes.....	33
Figura 9: Configurações de vento adotadas.....	34
Figura 10: Área de influência dos pilares.....	37
Figura 11: Lajes escolhidas para serem analisadas.....	39
Figura 12: Esquematização das medias das cubetas utilizadas.....	40
Figura 13: Esquematização das medidas dos painéis de EPS utilizados.....	42
Figura 14: Comparação entre os volumes de concreto das lajes estudadas.....	46
Figura 15: Comparação entre os volumes de concreto total da estrutura.....	47
Figura 16: Comparativo das áreas de forma das lajes da edificação estudada.....	48
Figura 17: Consumo de Aço nas lajes estudadas.....	49
Figura 18: Coeficientes gama Z resultante do processamento das estruturas analisadas.....	50
Figura 19: Deslocamentos horizontais resultantes da análise estática linear das estruturas.....	50



## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Classes de resistência de concretos estruturais NBR 8953 .....	15
Tabela 2: Diâmetros das barras de aço utilizáveis NBR 7480 .....	16
Tabela 3: Correspondência entre a classe de agressividade ambiental .....	23
Tabela 4: Classe de agressividade ambiental .....	23
Tabela 5: Limites para deslocamentos.....	25
Tabela 6: Valores de momentos positivos máximos e deslocamentos na laje mais solicitada dos sistema estrutural de laje maciça e nervurada convencionais (COELHO, 2010, p.4).....	27
Tabela 7: Quantitativo de materiais do sistema estrutural convencional com laje maciça (COELHO, 2010, p.4). .....	28
Tabela 8: Quantitativo de materiais do sistema estrutural convencional com laje nervurada (COELHO, 2010, p.4). .....	29
Tabela 9: Sobrecargas acidentais.....	35
Tabela 10: Coeficiente de majoração da carga.....	38
Tabela 11: Deslocamentos imediatos de acordo com as sessões das lajes maciças .....	39
Tabela 12: Deslocamentos imediatos de acordo com as sessões das lajes nervuradas .....	41
Tabela 13: Deslocamentos imediatos de acordo com as sessões das lajes treliçadas .....	42
Tabela 14: Dimensão dos blocos de enchimento dos Painéis de EPS.....	42
Tabela 15: Tipos de perfis treliçados utilizados .....	43
Tabela 16: Momentos fletores positivos.....	44
Tabela 17: Momentos fletores negativos.....	45
Tabela 18: Especificações técnicas das armações treliçadas.....	56

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

EPS – Poliestireno Estendido

NBR – Norma Brasileira

ELU – Estado Limite Último

ELS – Estado Limite de Serviço

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>12</b>
1.1 PROBLEMA DE PESQUISA .....	13
1.2 OBJETIVOS .....	13
<b>1.2.1 Objetivo Geral .....</b>	<b>13</b>
<b>1.2.2 Objetivos Específicos .....</b>	<b>13</b>
1.3 JUSTIFICATIVA .....	13
<b>2 REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>15</b>
2.1 MATERIAIS CONSTITUINTES .....	15
<b>2.1.1 Concreto .....</b>	<b>15</b>
<b>2.1.2 Aço .....</b>	<b>15</b>
2.2 LAJES DE CONCRETO ARMADO .....	16
2.3 LAJES MACIÇAS .....	17
2.4 LAJES NERVURADAS .....	18
<b>2.4.1 Definição .....</b>	<b>18</b>
<b>2.4.2 Critérios de Projeto .....</b>	<b>19</b>
2.5 LAJES TRELIÇADAS .....	21
2.6 COBRIMENTO .....	22
2.7 ESTADOS LIMITES .....	24
<b>2.7.1 Estados limites últimos (ELU) .....</b>	<b>24</b>
<b>2.7.2 Estados limites de Serviço (ELS) .....</b>	<b>24</b>
2.8 DESLOCAMENTOS .....	25
2.9 TRABALHO RELACIONADO A COMPARAÇÃO DE DIFERENTES TIPOS DE LAJES .....	27
<b>2.9.1 Estudo comparativo entre sistemas estruturais com lajes maciças, nervuradas e lajes lisas .....</b>	<b>27</b>
<b>3 METODOLOGIA .....</b>	<b>30</b>
3.1 CARACTERIZAÇÕES GERAIS .....	30
3.2 TIPO DE ESTUDO .....	30
3.3 APRESENTAÇÃO DO EDIFÍCIO .....	30
3.4 CRITÉRIOS ADOTADOS PARA O DIMENSIONAMENTO DA ESTRUTURA .....	34
3.5 DEFINIÇÃO DE SOLO E FUNDAÇÃO .....	35
3.6 PRÉ-DIMENSIONAMENTO DOS ELEMENTOS ESTRUTURAIS .....	35
<b>3.6.1 Lajes .....</b>	<b>35</b>

<b>3.6.2 Vigas.....</b>	<b>36</b>
<b>3.6.3 Pilares .....</b>	<b>36</b>
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>	<b>39</b>
4.1 FLECHAS.....	39
<b>4.1.1 Lajes Maciças.....</b>	<b>39</b>
<b>4.1.2 Lajes Nervuradas.....</b>	<b>40</b>
<b>4.1.3 Lajes Treliçadas.....</b>	<b>42</b>
4.2 MOMENTOS FLETORES.....	44
<b>4.2.1 Positivos nas direções X e Y .....</b>	<b>44</b>
<b>4.2.2 Negativos nas direções X e Y .....</b>	<b>45</b>
4.3 VOLUME DE CONCRETO DAS LAJES .....	46
4.4 ÁREA DE FORMA .....	48
4.5 CONSUMO DE AÇO.....	49
4.6 COEFICIENTE GAMA-Z.....	50
<b>5 CONCLUSÕES.....</b>	<b>52</b>
<b>6 REFERÊNCIAS .....</b>	<b>53</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A análise estrutural de edifícios é de grande relevância para o conhecimento do comportamento e da estabilidade global da estrutura, possibilitando a verificação dos estados limites últimos e de serviço e a distribuição dos esforços, facilitando assim a determinação do tipo de estrutura que seria mais vantajoso para o projeto.

A estrutura de um edifício tem a função de transmitir as cargas geradas pela utilização e pelo peso próprio do mesmo para o solo, através das lajes, vigas, pilares e fundação. O custo da estrutura em concreto armado corresponde de 20% a 25% do custo da edificação finalizada e pronta para uso (GIONGO, 2007).

Definir as características de um edifício representa um dos quesitos de grande importância econômica dentro de um projeto estrutural, visto que tais características implicarão diretamente nos métodos construtivos, no tempo de obra, no volume de materiais e no número de profissionais necessários para a execução do empreendimento.

A elaboração de um projeto estrutural requer conhecimento e cuidado por parte do projetista devido a suas complexidades e particularidades, cabendo ao Engenheiro pensar em como a estrutura se comportará durante sua vida útil. De forma generalizada, o projeto estrutural pode ser dividido em quatro etapas: a concepção estrutural, que visa definir os materiais a serem empregados e o pré-dimensionamento dos elementos estruturais, a análise estrutural, que consiste na análise dos deslocamentos e esforços solicitantes da estrutura, o dimensionamento e detalhamento, que define as armaduras necessárias para suportar as solicitações calculadas na etapa de análise estrutural e, por fim, a emissão de plantas, que é composta basicamente por desenhos que contém as especificações de como executar a estrutura da obra (KIMURA, 2007).

Com o avanço dos modelos destinados a análise estrutural, tem-se a necessidade de estudar quais as vantagens e desvantagens da adoção de determinadas técnicas construtivas, uma das decisões importantes é a escolha do tipo de laje, visto que existem vários modelos estruturais, torna-se necessário um estudo mais detalhado para aferir qual o modelo mais indicado de acordo com características do edifício como altura, vãos livres e esbeltez.

Em edifícios de múltiplos pavimentos, as lajes podem ser responsáveis por aumentar significativamente o consumo de concreto e de madeira para execução das formas. No caso de lajes maciças, esta parcela pode chegar facilmente em dois terços do volume de concreto total da estrutura (FRANCA & FUSCO, 1997).

## 1.1 PROBLEMA DE PESQUISA

Como definir qual modelo construtivo de laje será mais recomendado de acordo com as características e limitações da edificação?

## 1.2 OBJETIVOS

### 1.2.1 Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho foi determinar as características e comportamentos das lajes em concreto armado maciças, nervuradas e treliçadas, considerando os estados de limite últimos e de serviço para o edifício estudado, utilizando o software comercial de projetos estruturais Eberick V8. Planejou-se determinar para quais vãos livres cada tipo de laje em concreto armado estudada neste trabalho seria mais adequado.

### 1.2.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos deste trabalho foram:

- Interpretar o comportamento estrutural de cada uma das lajes pesquisadas
- Realizar o comparativo de estimativa de materiais de cada um dos modelos
- Evidenciar as limitações dos métodos construtivos utilizados
- Reunir dados que embasem a determinação de qual modelo de laje seria mais adequado para o modelo estudado.

## 1.3 JUSTIFICATIVA

Atualmente o concreto e o aço são utilizados como principais matérias primas para a construção de edifícios de múltiplos pavimentos, tornando-se grandes contribuidores para o custo final da obra devido a necessidade de elevado consumo destes materiais, o uso combinado destes materiais da origem ao concreto armado, que é o responsável pela garantia da resistência e estabilidade global da estrutura.

Estudar os diferentes tipos de laje em concreto armado torna-se de extrema importância pois a escolha da laje tem impacto direto no volume de concreto que será utilizado e no tempo de execução, tornando-se interessante o estudo detalhado de suas características visando soluções técnicas que reduzam o custo final da edificação, pois quanto maior o volume de concreto, maior será o custo final da obra.

Segundo Van Acker (2002), comparado aos métodos de construção tradicionais e outros materiais de construção, os sistemas pré-fabricados, como método construtivo, e o concreto, como material, têm muitas características positivas. É uma forma industrializada de construção com muitas vantagens, pois transfere o trabalho realizado nos canteiros de obra para fabricas com processos de produção mais eficientes e racionais, trabalhadores especializados, repetição de tarefas e controle de qualidade.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 MATERIAIS CONSTITUINTES

#### 2.1.1 Concreto

Segundo Santos (2006), concreto é uma pasta feita de agregados miúdos e graúdos, cimento, areia e água, tornando-se um material plástico, moldável, ao qual é possível impor os mais variados formatos, com grande resistência a compressão. Em nenhum país do mundo modernizado a tecnologia do concreto armado foi tão predominante quanto no Brasil, sendo utilizado a partir do século XIX em edificações junto com o aço e o vidro.

A NBR 8953 – Concretos para fins estruturais – Classificação pela massa específica, por grupos de resistência e consistência (ABNT, 2015) define que concretos estruturais são os concretos com classe de resistência superior a C20. As resistências a compressão são determinadas de acordo com as classes de Resistencia, como exemplifica a tabela 1.

**Tabela 1: Classes de resistência de concretos estruturais NBR 8953**

Classe de resistência Grupo I	Resistência característica à compressão MPa	Classe de resistência Grupo II	Resistência característica à compressão MPa
C20	20	C55	55
C25	25	C60	60
C30	30	C70	70
C35	35	C80	80
C40	40	C90	90
C45	45	C100	100
C50	50		

Fonte: NBR 8953

#### 2.1.2 Aço

Segundo a NBR 7480 – Barras e fios de aço destinados a armaduras para concreto armado (ABNT, 1996), classificam-se como barras os produtos de diâmetro nominal 5,0 ou superior, obtidos exclusivamente por laminação a quente. De acordo com o valor característico da resistência de escoamento, as barras de aço são classificadas nas categorias CA-25 e CA-50, conforme a tabela 2.



Tabela 2: Diâmetros das barras de aço utilizáveis NBR 7480

BARRAS $\varnothing \geq 5$ Laminação a Quente										
CA - 25					CA - 50					
5	6,3	8	10	12,5	16	20	22	25	32	40

## 2.2 LAJES DE CONCRETO ARMADO

A NBR 6118 - Projeto de estruturas de concreto — Procedimento (ABNT, 2014) define como placas os elementos de superfície plana, sujeitos principalmente a ações normais a seu plano. As placas de concreto são usualmente denominadas lajes. Placas com espessura maior que  $1/3$  do vão devem ser estudadas como placas espessas.

Pode-se classificar as lajes como elementos planos bidimensionais, que são aqueles onde duas dimensões, o comprimento e a largura, são da mesma ordem de grandeza e muito maiores que a terceira dimensão, a espessura. Tem função de receber a maior parte das ações aplicadas numa construção, seja por pessoas, móveis, pisos e paredes ou por variados tipos de cargas decorrente da finalidade da edificação, estas ações são habitualmente perpendiculares ao plano da laje, podendo ser distribuídas ou concentradas, normalmente transmitidas para as vigas de apoio ou diretamente para os pilares (BASTOS, 2015). Conforme representado na figura 1.

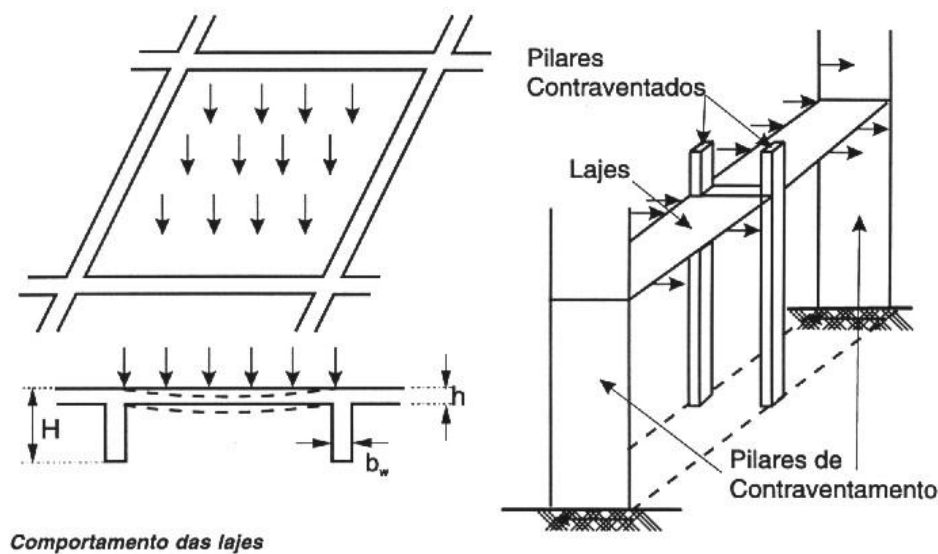


Figura 1: Funções estruturais das lajes (FRANCA & FUSCO, 1997).

Conforme Souza e Cunha (1998) categorizam as lajes sob quatro critérios: forma, natureza, tipo de apoio e tipo de armação. Assim, quanto:

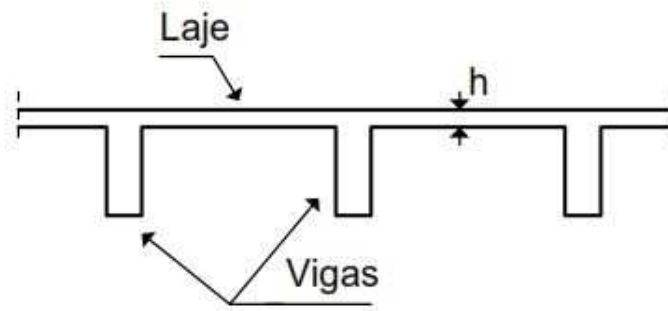
- Á forma: as lajes podem ser retangulares, quadradas, triangulares, em L, circulares, etc.;
- Á natureza: existem lajes maciças, nervuradas, mistas, em grelha, duplas e pré-fabricadas;
- Ao tipo de apoio: as lajes podem ter apoio contínuo, discreto e em apenas um trecho de sua área;
- Ao tipo de armação: elas podem ser armadas ou em uma só direção ou em duas, também chamadas de armadas em cruz ou bidirecional.

### 2.3 LAJES MACIÇAS

Conforme Bastos (2015), lajes maciças são aquelas que tem toda sua espessura composta por concreto, contendo armadura de flexão e, se necessário, armaduras transversais, podendo ser apoiadas em vigas ou paredes como mostra a figura 2. Podem ser de concreto armado ou concreto protendido, sendo muito utilizadas em edifícios de múltiplos pavimentos e construções de grande porte, como escolas, indústrias, hospitais, pontes de grandes vãos, etc. Normalmente não são muito utilizadas em construções de pequeno porte.

De acordo com o item 13.2.4.1 da NBR 6118 - Projeto de estruturas de concreto — Procedimento (ABNT, 2014), as lajes maciças devem respeitar os seguintes parâmetros mínimos para a espessura:

- 7 cm para cobertura não em balanço;
- 8 cm para lajes de piso não em balanço;
- 10 cm para lajes em balanço;
- 10 cm para lajes que suportem veículos de peso total menor ou igual a 30 kN;
- 12 cm para lajes que suportem veículos de peso total maior que 30 kN;
- 15 cm para lajes com protensão apoiadas em vigas, com o mínimo de  $L/42$  para lajes de pisos biapoiadas e  $L/50$  para lajes de piso contínuas;
- 16 cm para lajes lisas e 14 cm para lajes-cogumelo, fora do capitel. (NBR 6118 - Projeto de estruturas de concreto — Procedimento, ABNT, 2014, p.92)



**Figura 2: Corte esquemático de laje maciça**

**FONTE:** <http://www.editoradunas.com.br>

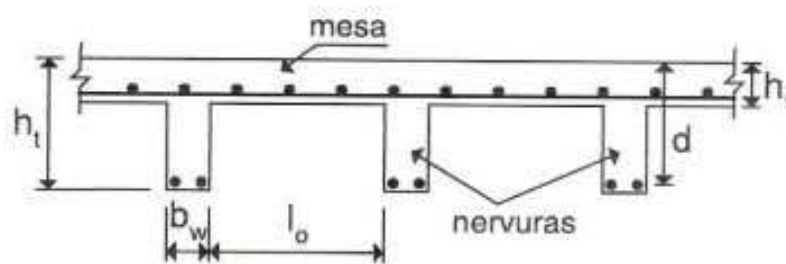
Segundo Lopes (2012), pode-se dividir o processo de execução da laje maciça de concreto armado em seis etapas sendo:

- 1) Colocação das fôrmas e dos escoramentos
- 2) Colocação das armaduras
- 3) Preparação e lançamento do concreto
- 4) Adensamento do concreto
- 5) Cura do concreto
- 6) Retirada das fôrmas e dos escoramentos

## 2.4 LAJES NERVURADAS

### 2.4.1 Definição

Para a NBR 6118 - Projeto de estruturas de concreto — Procedimento (ABNT, 2014), lajes nervuradas são as lajes moldadas *in loco* ou com nervuras pré-moldadas, cuja zona de tração para momentos positivos está localizada nas nervuras entre as quais pode ser colocado material inerte, conforme ilustrado na figura 3.



**Figura 3: Corte esquemático de laje nervurada simples (ARAÚJO, 2003, p144)**

De acordo com Araújo (2014), as lajes nervuradas são mais indicadas para vencer grandes vãos, geralmente superiores a 8 m, devido a utilização de armaduras longitudinais de tração, consegue-se uma redução do peso próprio da laje. Adicionalmente, combatem com eficiência os esforços de tração, que são absorvidos pela nervura com a devida armadura, e os esforços de compressão que são suportados, pela mesa de concreto. A parte inferior da laje nervurada tem pequena parcela na contribuição para a resistência de compressão, servindo apenas para garantir a aderência entre o aço e o concreto, sendo considerada inerte e podendo ser preenchida com material mais leve, sem função estrutural, como placas EPS, elementos cerâmicos, entre outros. A aparência final da laje nervurada simples, antes de ser concretada é ilustrada na figura 4.



**Figura 4: Lajes nervuradas com moldes plásticos**

**FONTE:** <http://www.flickr.com/photos/atex>

#### **2.4.2 Critérios de Projeto**

De acordo com o item 14.7.7 da NBR 6118 - Projeto de estruturas de concreto — Procedimento (ABNT, 2014), “Todas as prescrições anteriores relativas às lajes podem ser consideradas válidas, desde que sejam obedecidas as condições de 13.2.4.2.”, as determinações anteriores referem-se às Estruturas com elementos de placa (item 14.7). Logo, a norma permite que o cálculo da laje nervurada seja feito como recomendado para lajes maciças, desde que estejam de acordo com o estabelecido no o item 13.2.4.2.

O cálculo da laje nervurada como laje maciça é chamado simplificado. Quando as condições do item 13.2.4.2 não condizem com o projeto, a norma diz que (item 14.7.7) “deve-se analisar a laje nervurada considerando a capa como laje maciça apoiada em uma grelha de vigas.” As condições estabelecidas pela norma no item 13.2.4.2 são de dois tipos: relativas às especificações para as dimensões da laje e relativas ao projeto da laje. As especificações quanto às dimensões são:

- a) A espessura da mesa, quando não existirem tubulações horizontais embutidas, deve ser maior ou igual a  $1/15$  da distância entre as faces das nervuras ( $\lambda_o$ ) e não menor que 4 cm;
- b) O valor mínimo absoluto da espessura da mesa deve ser 5 cm, quando existirem tubulações embutidas de diâmetro menor ou igual a 10 mm. Para tubulações com diâmetro  $\phi$  maior que 10 mm, a mesa deve ter a espessura mínima de  $4\text{ cm} + \phi$ , ou  $4\text{ cm} + 2\phi$  no caso de haver cruzamento destas tubulações;
- c) A espessura das nervuras não pode ser inferior a 5 cm;
- d) Nervuras com espessura menor que 8 cm não podem conter armadura de compressão. (NBR 6118 - Projeto de estruturas de concreto — Procedimento, ABNT, 2014, p.74-75)

Quanto ao projeto, de acordo com o item 13.2.4.2:

Para o projeto das lajes nervuradas, devem ser obedecidas as seguintes condições:

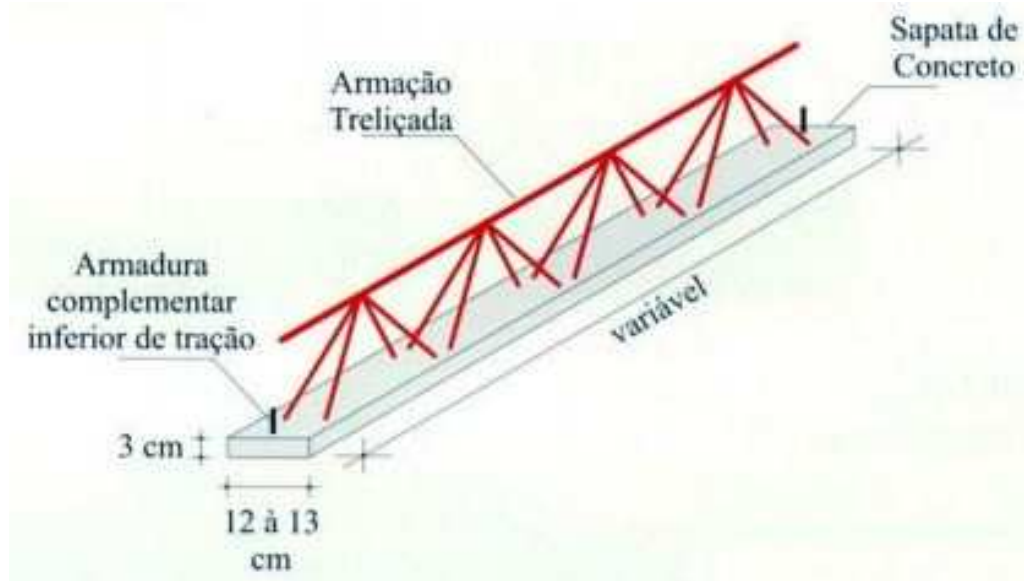
- a) para lajes com espaçamento entre eixos de nervuras menor ou igual a 65 cm, pode ser dispensada a verificação da flexão da mesa, e para a verificação do cisalhamento da região das nervuras, permite-se a consideração dos critérios de laje;
- b) para lajes com espaçamento entre eixos de nervuras entre 65 cm e 110 cm, exige-se a verificação da flexão da mesa, e as nervuras devem ser verificadas ao cisalhamento como vigas; permite-se essa verificação como lajes se o espaçamento entre eixos de nervuras for até 90 cm e a largura média das nervuras for maior que 12 cm;
- c) para lajes nervuradas com espaçamento entre eixos de nervuras maior que 110 cm, a mesa deve ser projetada como laje maciça, apoiada na grelha de vigas, respeitando-se os seus limites mínimos de espessura. (NBR 6118 - Projeto de estruturas de concreto — Procedimento, ABNT, 2014, p.75)

Segundo Bastos (2015), quando não for possível realizar o projeto da laje nervurada utilizando o método do cálculo simplificado deve-se calcular os esforços solicitantes e deslocamentos considerando a laje como uma grelha ou considerar o método dos Elementos Finitos.

## 2.5 LAJES TRELIÇADAS

De acordo com a NBR 14859-1 - Laje pré-moldada - Requisitos - Lajes unidirecionais (ABNT, 2002), laje treliçadas pré-fabricadas são constituídas por concreto, com seção formando uma placa, produzidas em fabricas especializadas ou no canteiro de obras seguindo precisamente o projeto, a fim de garantir a qualidade. A armadura treliçada deve englobar o concreto da vigota parcialmente, podendo ser complementada com armadura passiva inferior de tração completamente englobada pelo concreto da nervura, como mostra a figura 5.

Melo (apud BRANDALISE e WESSLING, 2015, p.35) declara que o uso de lajes pré-fabricadas como parte do sistema estrutural pode minimizar o custo da obra, pois ocasionam a diminuição do uso de formar de madeira, diminuição da mão de obra, aceleram o processo de montagem, reduzem as perdas de concreto, garantem melhor sistema vibração nas peças e possibilitam melhores compatibilizações e soluções construtivas de projeto.



**Figura 5: Nervura da laje treliçada**

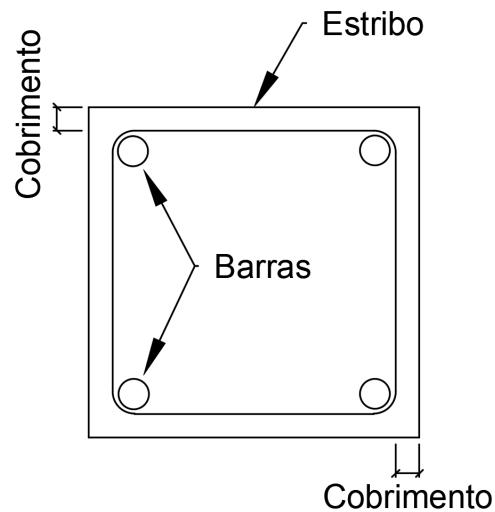
**FONTE: <http://wwwp.feb.unesp.br>**

De acordo com Bastos (2015) a vigota treliçada é uma peça formada por armadura em forma de treliça espacial, constituída por banzo superior com uma barra e banzo inferior com duas barras envolvidas por concreto, formando uma placa de apoio. Os banzos inferiores e

superiores são soldados por eletrofusão e unidos por barras diagonais inclinadas, facilitando o transporte e mantendo a rigidez da peça.

## 2.6 COBRIMENTO

O cobrimento mínimo é espessura da camada de concreto entre uma face da peça e a camada de barras mais próxima dessa face (inclusive estribos), tendo como objetivo proteger as barras de possíveis danos causados por contato com material corrosivo ou exposição a temperaturas elevadas, de acordo com a ilustração da figura 6. Recomenda-se ainda que, além do cobrimento, o concreto seja bem compactado (FLÓRIO, 2004).



**Figura 6: Cobrimento da armadura**

**Fonte: Autor do trabalho**

A NBR 6118 - Projeto de estruturas de concreto — Procedimento (ABNT, 2014), estabelece requisitos para o cobrimento mínimo como:

- O cobrimento mínimo da armadura é o menor valor que deve ser respeitado ao longo de todo o elemento considerado;
- Para garantir o cobrimento mínimo ( $c_{\min}$ ), o projeto e a execução devem considerar o cobrimento nominal ( $c_{\text{nom}}$ ), que é o cobrimento mínimo acrescido da tolerância de execução ( $\Delta c$ );
- As dimensões das armaduras e os espaçadores devem respeitar os cobrimentos nominais;
- Nas obras correntes, o valor de  $\Delta c$  deve ser maior ou igual a 10 mm;
- A dimensão máxima característica do agregado graúdo utilizado no concreto não pode superar em 20 % a espessura nominal do cobrimento, ou seja:  
 $d_{\text{máx}} \leq 1,2 c_{\text{nom}}$  (NBR 6118, 2014, p.19)

A NBR 6118 - Projeto de estruturas de concreto — Procedimento (ABNT, 2014) correlaciona o cobrimento nominal para  $\Delta c = 10$  mm conforme a tabela 3 com as classes de agressividade ambiental representadas na tabela 4.

**Tabela 3: Correspondência entre a classe de agressividade ambiental**

Tipo de estrutura	Componente ou elemento	Classe de agressividade ambiental (Tabela 6.1)			
		I	II	III	IV <sup>c</sup>
		Cobrimento nominal mm			
Concreto armado	Laje <sup>b</sup>	20	25	35	45
	Viga/pilar	25	30	40	50
	Elementos estruturais em contato com o solo <sup>d</sup>	30		40	50
Concreto protendido <sup>a</sup>	Laje	25	30	40	50
	Viga/pilar	30	35	45	55

<sup>a</sup> Cobrimento nominal da bainha ou dos fios, cabos e cordoalhas. O cobrimento da armadura passiva deve respeitar os cobrimentos para concreto armado.

<sup>b</sup> Para a face superior de lajes e vigas que serão revestidas com argamassa de contrapiso, com revestimentos finais secos tipo carpete e madeira, com argamassa de revestimento e acabamento, como pisos de elevado desempenho, pisos cerâmicos, pisos asfálticos e outros, as exigências desta Tabela podem ser substituídas pelas de 7.4.7.5, respeitado um cobrimento nominal  $\geq 15$  mm.

<sup>c</sup> Nas superfícies expostas a ambientes agressivos, como reservatórios, estações de tratamento de água e esgoto, condutos de esgoto, canaletas de efluentes e outras obras em ambientes química e intensamente agressivos, devem ser atendidos os cobrimentos da classe de agressividade IV.

<sup>d</sup> No trecho dos pilares em contato com o solo junto aos elementos de fundação, a armadura deve ter cobrimento nominal  $\geq 45$  mm.

Fonte: NBR 6118

**Tabela 4: Classe de agressividade ambiental**

Classe de agressividade ambiental	Agressividade	Classificação geral do tipo de ambiente para efeito de projeto	Risco de deterioração da estrutura
I	Fraca	Rural	Insignificante
		Submersa	
II	Moderada	Urbana <sup>a, b</sup>	Pequeno
III	Forte	Marinha <sup>a</sup>	Grande
		Industrial <sup>a, b</sup>	
IV	Muito forte	Industrial <sup>a, c</sup>	Elevado
		Respingos de maré	

<sup>a</sup> Pode-se admitir um microclima com uma classe de agressividade mais branda (uma classe acima) para ambientes internos secos (salas, dormitórios, banheiros, cozinhas e áreas de serviço de apartamentos residenciais e conjuntos comerciais ou ambientes com concreto revestido com argamassa e pintura).

<sup>b</sup> Pode-se admitir uma classe de agressividade mais branda (uma classe acima) em obras em regiões de clima seco, com umidade média relativa do ar menor ou igual a 65 %, partes da estrutura protegidas de chuva em ambientes predominantemente secos ou regiões onde raramente chove.

<sup>c</sup> Ambientes quimicamente agressivos, tanques industriais, galvanoplastia, branqueamento em indústrias de celulose e papel, armazéns de fertilizantes, indústrias químicas.

Fonte: NBR 6118



## 2.7 ESTADOS LIMITES

De acordo com a NBR 8681 – Ações e segurança nas estruturas - Procedimento (ABNT, 2003), os estados limites podem ser caracterizados em estado limite ultimo e estado limite de serviço, suas considerações em projetos estruturais dependem dos tipos de materiais que serão utilizados na construção e devem ter suas especificações de acordo com as normas referentes ao projeto de estruturas.

### 2.7.1 Estados limites últimos (ELU)

A NBR 6118 - Projeto de estruturas de concreto — Procedimento (ABNT, 2014) define que os estados limites últimos estão ligados a segurança da estrutura, pois estão diretamente relacionados a qualquer colapso estrutural que determine a paralisação do uso da estrutura.

A NBR 8681 – Ações e segurança nas estruturas - Procedimento (ABNT, 2003) considera que, para projetos, devem ser considerados os seguintes estados limites últimos:

- a) perda de equilíbrio, global ou parcial, admitida a estrutura como um corpo rígido;
- b) ruptura ou deformação plástica excessiva dos materiais;
- c) transformação da estrutura, no todo ou em parte, em sistema hipostático;
- d) instabilidade por deformação;
- e) instabilidade dinâmica. (NBR 8681, 2003, p.2)

### 2.7.2 Estados limites de Serviço (ELS)

Segundo a NBR 6118 - Projeto de estruturas de concreto — Procedimento (ABNT, 2014), estados limites de serviço são aqueles diretamente ligados a durabilidade, ao conforto de utilização e a aparência da edificação.

A NBR 8681 – Ações e segurança nas estruturas - Procedimento (ABNT, 2003) explica que os estados limites de serviço podem ser caracterizados por:

- a) danos ligeiros ou localizados, que comprometam o aspecto estético da construção ou a durabilidade da estrutura;
- b) deformações excessivas que afetem a utilização normal da construção ou seu aspecto estético;
- c) vibração excessiva ou desconfortável. (NBR 8681, 2003, p.2)

## 2.8 DESLOCAMENTOS

Segundo o item 6.1 da NBR 6118 - Projeto de estruturas de concreto — Procedimento (ABNT, 2014), “As estruturas de concreto devem ser projetadas e construídas de modo que, sob as condições ambientais previstas na época do projeto e quando utilizadas conforme preconizado em projeto, conservem sua segurança, estabilidade e aptidão em serviço.”

A estrutura deve atender a requisitos que garantam sua qualidade, desempenho e vida útil, portanto, é fundamental que os deslocamentos que ocorrem na estrutura sejam limitados em projeto.

A NBR 6118 - Projeto de estruturas de concreto — Procedimento (ABNT, 2014), no item 13.3, indica valores-limites de deslocamentos que induzem a estrutura a se comportar de forma adequada em serviço, de acordo com a tabela 5.

**Tabela 5: Limites para deslocamentos**

Tipo de efeito	Razão da limitação	Exemplo	Deslocamento a considerar	Deslocamento-limite
Aceitabilidade sensorial	Visual	Deslocamentos visíveis em elementos estruturais	Total	$\ell/250$
	Outro	Vibrações sentidas no piso	Devido a cargas acidentais	$\ell/350$
Efeitos estruturais em serviço	Superfícies que devem drenar água	Coberturas e varandas	Total	$\ell/250^a$
	Pavimentos que devem permanecer planos	Ginásios e pistas de boliche	Total	$\ell/350 + \text{contraflecha}^b$
			Ocorrido após a construção do piso	$\ell/600$
Elementos que suportam equipamentos sensíveis	Laboratórios	Ocorrido após nivelamento do equipamento	De acordo com recomendação do fabricante do equipamento	
Efeitos em elementos não estruturais	Paredes	Alvenaria, caixilhos e revestimentos	Após a construção da parede	$\ell/500^c$ e 10 mm e $\theta = 0,0017 \text{ rad}^d$
		Divisórias leves e caixilhos telescópicos	Ocorrido após a instalação da divisória	$\ell/250^c$ e 25 mm
		Movimento lateral de edifícios	Provocado pela ação do vento para combinação frequente ( $\psi_1 = 0,30$ )	$H/1700$ e $H/850^e$ entre pavimentos <sup>f</sup>
		Movimentos térmicos verticais	Provocado por diferença de temperatura	$\ell/400^g$ e 15 mm

Tabela 5 (continuação)

Tipo de efeito	Razão da limitação	Exemplo	Deslocamento a considerar	Deslocamento-limite
Efeitos em elementos não estruturais	Forros	Movimentos térmicos horizontais	Provocado por diferença de temperatura	$H_i/500$
		Revestimentos colados	Ocorrido após a construção do forro	$l/350$
		Revestimentos pendurados ou com juntas	Deslocamento ocorrido após a construção do forro	$l/175$
	Pontes rolantes	Desalinhamento de trilhos	Deslocamento provocado pelas ações decorrentes da frenagem	$H/400$
Efeitos em elementos estruturais	Afastamento em relação às hipóteses de cálculo adotadas	Se os deslocamentos forem relevantes para o elemento considerado, seus efeitos sobre as tensões ou sobre a estabilidade da estrutura devem ser considerados, incorporando-os ao modelo estrutural adotado.		
<p><sup>a</sup> As superfícies devem ser suficientemente inclinadas ou o deslocamento previsto compensado por contraflechas, de modo a não se ter acúmulo de água.</p> <p><sup>b</sup> Os deslocamentos podem ser parcialmente compensados pela especificação de contraflechas. Entretanto, a atuação isolada da contraflecha não pode ocasionar um desvio do plano maior que <math>l/350</math>.</p> <p><sup>c</sup> O vão <math>l</math> deve ser tomado na direção na qual a parede ou a divisória se desenvolve.</p> <p><sup>d</sup> Rotação nos elementos que suportam paredes.</p> <p><sup>e</sup> <math>H</math> é a altura total do edifício e <math>H_i</math> o desnível entre dois pavimentos vizinhos.</p> <p><sup>f</sup> Esse limite aplica-se ao deslocamento lateral entre dois pavimentos consecutivos, devido à atuação de ações horizontais. Não podem ser incluídos os deslocamentos devidos a deformações axiais nos pilares. O limite também se aplica ao deslocamento vertical relativo das extremidades de lintéis conectados a duas paredes de contraventamento, quando <math>H_i</math> representa o comprimento do lintel.</p> <p><sup>g</sup> O valor <math>l</math> refere-se à distância entre o pilar externo e o primeiro pilar interno.</p> <p>NOTAS</p> <p>1 Todos os valores-limites de deslocamentos supõem elementos de vão <math>l</math> suportados em ambas as extremidades por apoios que não se movem. Quando se tratar de balanços, o vão equivalente a ser considerado deve ser o dobro do comprimento do balanço.</p> <p>2 Para o caso de elementos de superfície, os limites prescritos consideram que o valor <math>l</math> é o menor vão, exceto em casos de verificação de paredes e divisórias, onde interessa a direção na qual a parede ou divisória se desenvolve, limitando-se esse valor a duas vezes o vão menor.</p> <p>3 O deslocamento total deve ser obtido a partir da combinação das ações características ponderadas pelos coeficientes definidos na Seção 11.</p> <p>4 Deslocamentos excessivos podem ser parcialmente compensados por contraflechas.</p>				

Fonte: NBR 6118

## 2.9 TRABALHO RELACIONADO A COMPARAÇÃO DE DIFERENTES TIPOS DE LAJES

### 2.9.1 Estudo comparativo entre sistemas estruturais com lajes maciças, nervuradas e lajes lisas.

(COELHO, 2010), analisou em seu TCC de graduação, a comparação entre os quantitativos de materiais dos sistemas estruturais de lajes convencionais maciças e lajes convencionais nervuradas, baseando-se nas recomendações de projetos estruturais estabelecidas pela NBR 6118:2003. Para esta análise, idealizou-se um pavimento tipo de um prédio residencial com 2 apartamentos por andar, projetado utilizando o software comercial Eberick V6 Gold.

As lajes convencionais apoiadas em vigas prevalecem no mercado brasileiro de edifícios por motivos culturais, pois devido a sua ampla utilização, geram uma maior disponibilidade de mão-de-obra treinada no mercado. Entretanto existem casos que há necessidade de vencer vãos maiores com redução do número de pilares para facilitar a organização dos pavimentos garagem em edifícios residenciais ou a utilização de divisórias flexíveis em edifícios comerciais, sendo recomendada a utilização de lajes nervuradas.

Segundo Coelho (2010), a utilização de uma análise não linear sofre influência da flexibilidade dos apoios por alterar o campo de deformação da laje, modificando os esforços internos e as reações nos apoios, possibilitando a comparação entre os resultados por Analogia de Grelha e pelo processo de Marcus para lajes retangulares.

**Tabela 6: Valores de momentos positivos máximos e deslocamentos na laje mais solicitada dos sistema estrutural de laje maciça e nervurada convencionais (COELHO, 2010, p.4).**

<b>ESFORÇOS NAS LAJES 5 E 24:</b>	<b>MÉTODO</b>		
	<b>GRELHA</b>		<b>MARCUS</b>
<b>TIPO DE LAJE</b>	<b>Maciça</b>	<b>Nervurada</b>	
Mdx (kg.m/m)	468	422	244
Mdy(kg.m/m)	6043	581	349
Flecha máxima (cm)	-0,68	-0,96	-0,67

De acordo com os dados apresentados na tabela 6, nota-se que houve diferença de aproximadamente 70% entre os momentos calculados pelo método de grelhas e método de Marcus. A causa desta diferença está diretamente relacionada a redução da rigidez das vigas de apoio calculadas pelo método de grelhas utilizando o software Eberick v6 Gold, onde a deformação das lajes sofre influência da deformação das vigas que as apoiam, tornando a situação mais próxima do real, diferente do método de Marcus, que considera as vigas como elementos capazes de absorver os carregamentos gerados pelas lajes sem sofrer deformações consideráveis (COELHO, 2010).

Segundo Coelho (2010), observando os dados relacionados a flecha da laje maciça e da laje nervurada apresentados na tabela 6, deve-se levar em consideração o local de utilização de cada um dos dois tipos de laje, recomendando-se a utilização da laje nervurada, por exemplo, em pisos de garagem, por exigirem cargas elevadas, vãos grandes e pouca alvenaria, pois a flecha grande, porém dentro do estabelecido pela NBR 6118:2003, não afetará a aparência ou a durabilidade da estrutura. Caso a utilização do pavimento seja destinada a uso residencial, com muitas paredes, o uso da laje nervurada não seria recomendado devido a flecha grande, que pode gerar fissuras na alvenaria e comprometer a aparência estética da edificação, recomendando-se o uso de laje maciça para esse caso.

**Tabela 7: Quantitativo de materiais do sistema estrutural convencional com laje maciça (COELHO, 2010, p.4).**

		<b>Vigas</b>	<b>Pilares</b>	<b>Lajes</b>	<b>Total</b>
<b>Volume concreto (m<sup>3</sup>)</b>	<b>C-25</b>	13,7	6,9	23,1	43,8
<b>Área de forma (m<sup>2</sup>)</b>		203,8	91,0	234,2	528,9
<b>Peso total (kg)</b>	<b>CA50</b>	706,0	287,2	227,1	1220,3
	<b>CA60</b>	186,3	103,1	1028,7	1318,1
	<b>Total</b>	892,3	390,3	1255,8	2538,4
<b>Consumo de aço (kgf/m<sup>3</sup>)</b>		65,1	56,3	54,3	58,0

**Tabela 8: Quantitativo de materiais do sistema estrutural convencional com laje nervurada (COELHO, 2010, p.4).**

		Vigas	Pilares	Lajes	Total	
<b>Volume concreto (m<sup>3</sup>):</b>	<b>C-25</b>	13.7	6.9	15.1	35.7	
<b>Área de forma (m<sup>2</sup>):</b>		203.8	91.0	234.2	528.9	
<b>Aço Peso total (kg):</b>	<b>CA50</b>	685.6	282.4	870.3	1838.3	
	<b>CA60</b>	186.5	101.9	542.4	830.7	
	<b>Total</b>	872.1	384.2	1412.7	2669.1	
<b>Consumo de aço (kgf/m<sup>3</sup>):</b>		63.6	55.4	92.5	74.3	
<b>Blocos de enchimento</b>						
Pavimento	Tipo	Nome	Dimensões(cm)			Quantidade
			hb	bx	By	
Tipo	EPS Painel	B8/40/40	8	40	40	923

Observando as tabelas 7 e 8, percebe-se que o consumo de concreto com utilização da laje nervurada é menor em relação ao da laje maciça, tornando a estrutura mais leve, sendo recomendada para vencer grandes vãos, além do material de enchimento das lajes nervuradas funcionar como isolante térmico e acústico, resultando em um sistema economicamente mais viável do que as lajes maciças. Entretanto, a utilização de lajes nervuradas pode ser menos eficiente em relação as lajes maciças quando se trata da distribuição dos eletrodutos e tubulações de água, visto que não se deve utilizar a região da mesa para passagem dos mesmos, pois reduz a espessura da zona de compressão da laje e, conseqüentemente, reduz a resistência da peça e compromete a estabilidade.

### 3 METODOLOGIA

#### 3.1 CARACTERIZAÇÕES GERAIS

Este estudo visou apresentar uma análise comparativa entre os sistemas estruturais de laje em concreto armado. Inicialmente, foram definidos os sistemas estruturais de laje que seriam estudados, em seguida, definiu-se a planta baixa do edifício que seria utilizado como base para as análises estruturais de cada um dos sistemas.

Posteriormente, foi efetuado o lançamento e análise da estrutura para os sistemas estruturais adotados, com objetivo de quantificar os materiais para possibilitar as comparações e análise dos dados, bem como a análise estática linear das estruturas estudadas.

#### 3.2 TIPO DE ESTUDO

Em conformidade com Prodanov e Freitas (2013), este estudo pode ser classificado, quanto a natureza, como pesquisa aplicada por ter finalidades imediatas, quanto a forma de abordagem do problema, como um estudo quantitativo, por considerar parâmetros estatísticos que serão analisados e qualificados, quanto ao objetivo metodológico, como pesquisa explicativa, por visar a identificação de fatores que contribuem para a ocorrência de fenômenos e quanto ao procedimento metodológico, como experimental, por considerar etapas como definição do objeto de estudo, limitação das variáveis capazes de influenciar a pesquisa e observação dos efeitos que cada variável produz no estudo.

#### 3.3 APRESENTAÇÃO DO EDIFÍCIO

O edifício-exemplo está disponível para acesso no site da construtora e incorporadora L. Priori (<http://www.lpriori.com.br/cliente/download.html>). Trata-se do projeto do Edifício Des. Dirceu Borges, de autoria do Arquiteto Gustavo Fernandes Bandeira e de propriedade da L. Priori Industria e Comercio Ltda., situados em Recife/PE.

Trata-se de um edifício residencial, com dois apartamentos por pavimento (com 143 m<sup>2</sup> cada) cuja arquitetura foi modificada com objetivo de tornar os apartamentos mais retilíneos, de acordo com a Figura 7.

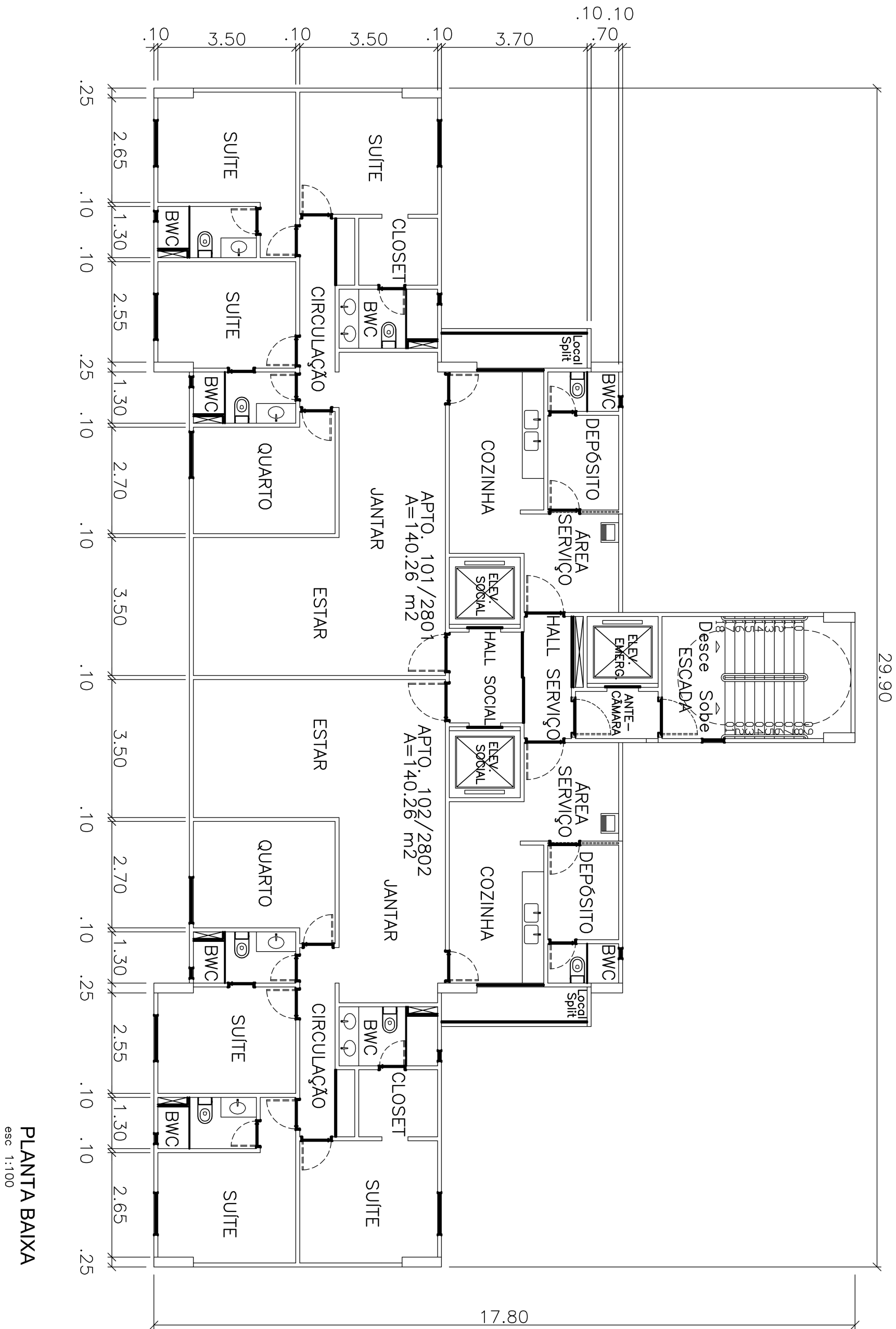


Figura 7: Planta baixa Edifício Dirceu Borges

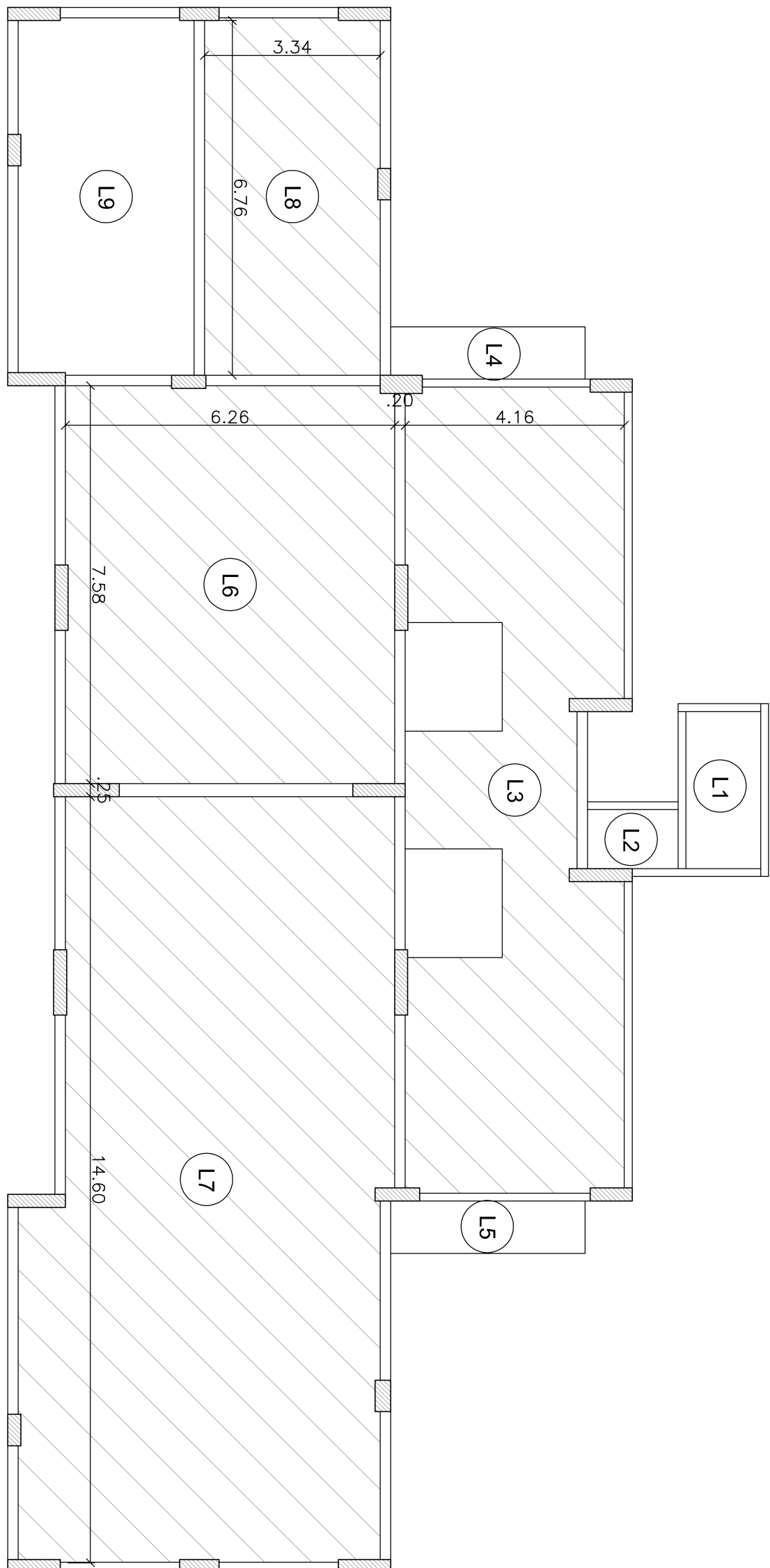
Fonte: Autor do trabalho



Foi considerado que, hipoteticamente, o edifício tem dezesseis pavimentos, sendo garagem, quinze pavimentos iguais ao tipo e academia no último pavimento, com pé direito de 2,90m, totalizando em uma edificação com 46,40m.

Para fins comparativos, serão analisadas as lajes 3, 6, 7 e 9, apresentadas na figura 8, por serem as lajes que apresentam os maiores vãos na edificação e, conseqüentemente, são as lajes mais solicitadas, resultando em maiores variações de esforços e deslocamentos verticais.

Com intuito de comparar as lajes maciça, nervurada e treliçada em relação aos deslocamentos imediatos, volumes de concreto, áreas de forma, áreas de aço, coeficientes gama-z e deslocamentos horizontais, elaborou-se um painel formado por 9 lajes com as mesmas dimensões em todos os pavimentos, como representado figura 8.



**REPRESENTAÇÃO DAS LAJES ESCOLHIDAS**  
 esc 1:100

**Figura 8: Localização das lajes**

**Fonte: Autor do trabalho**

### 3.4 CRITÉRIOS ADOTADOS PARA O DIMENSIONAMENTO DA ESTRUTURA

Para os cálculos estruturais relativos as lajes maciças, nervuradas e treliçadas foram analisados como carregamentos verticais permanentes, os revestimentos internos, externos e os concretos utilizados, sendo considerados como uma carga uniformemente distribuída de  $100\text{kgf/m}^2$ , de acordo com a NBR 6120 – Cargas para o cálculo de estruturas de edificações (ABNT, 1980), e como carregamentos verticais acidentais, a ação do vento, de acordo com a figura 9 e as sobrecargas de utilização da edificação de acordo com a tabela 9, respeitando os valores sugeridos pela NBR 6120 – Cargas para o cálculo de estruturas de edificações (ABNT, 1980).

O estudo foi dividido em duas etapas principais que são a análise estrutural das lajes mais solicitadas, para definir o comportamento e contribuição estrutural de cada um dos modelos e a análise de custos da estrutura, como vigas, pilares, lajes e sapatas. Como serviços e insumos serão considerados o concreto, o aço e as formas para execução dos pilares, vigas e lajes. O fck do concreto adotado para todos os elementos estruturais de concreto armado foi de  $30\text{MPa}$ , com peso específico de  $30\text{ kN/m}^3$  e módulo de elasticidade de  $23071,6\text{MPa}$ .

**Configurações de Vento**

Velocidade  m/s

Edificação

Nível do solo  cm

Maior dimensão horizontal ou vertical

Rugosidade do terreno

Aplicação do Vento

Direção X

Direção Y

Ângulo  °

Topografia

Encostas e cristas de morros em que ocorre aceleração do vento. Vales com efeito de afunilamento ( $S1 = 1.1$ )

Vales profundos, protegidos de todos os ventos ( $S1 = 0.9$ )

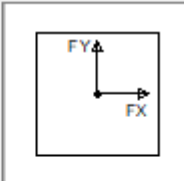
Demais casos ( $S1 = 1.0$ )

Fator Estatístico  $S3$

Edificações cuja ruína total ou parcial pode afetar a segurança ou possibilidade de socorro a pessoas após uma tempestade destrutiva (hospitais, quartéis de bombeiros e de forças de segurança, centrais de comunicações, etc.): 1.10

Edificações para hotéis e residências. Edificações para comércio e indústria com alto fator de ocupação: 1.00

Edificações e instalações industriais com baixo fator de ocupação (depósitos, silos, construções rurais, etc.): 0.95



**Figura 9: Configurações de vento adotadas**

**Fonte: Autor do trabalho**

**Tabela 9: Sobrecargas acidentais****Fonte: Autor do trabalho**

<b>Pavimentos</b>	<b>Ambientes</b>	<b>Sobrecarga</b>
Academia	Único	500 kgf/m <sup>2</sup>
Tipo	Área de serviço e Lavanderia	200 kgf/m <sup>2</sup>
	Demais Áreas	150 kgf/m <sup>2</sup>
Garagem	Único	300 kgf/m <sup>2</sup>

Baseando-se no item 6.4.2 da NBR 6118 - Projeto de estruturas de concreto — Procedimento (ABNT, 2014), classificou-se o terreno como Classe de Agressividade Ambiental II por se tratar de uma edificação urbana com agressividade moderada e baixo risco de deterioração da estrutura. O cobrimento das lajes, vigas e pilares foi definido de acordo com a tabela 3, sendo 2,5cm para as lajes e 3,0cm para as vigas e pilares.

As flechas nas lajes e vigas foram limitadas considerando o deslocamento limite como  $L/300$ , de acordo com o indicado pela NBR 6118 para satisfazer o efeito de aceitabilidade sensorial.

### 3.5 DEFINIÇÃO DE SOLO E FUNDAÇÃO

Foi adotado, para fins de estudo, solo arenoso com tensão admissível de 0,6 MPa, para minimizar problemas relacionados a recalques e ruptura do solo. Foram utilizadas sapatas como elemento de fundação com 1,50m de profundidade.

### 3.6 PRÉ-DIMENSIONAMENTO DOS ELEMENTOS ESTRUTURAIS

#### 3.6.1 Lajes

O pré-dimensionamento das lajes maciças foi definido respeitando os valores mínimos sugeridos no item 13.2.4.1 da NBR 6118 - Projeto de estruturas de concreto — Procedimento (ABNT, 2014), adotando-se 10cm como altura inicial para minimizar os efeitos de falta de isolamento acústico.

As espessuras mínimas iniciais das mesas das lajes nervuradas foram de 4cm, definidas de acordo com o sugerido pelo item 13.2.4.2 da NBR 6118 - Projeto de estruturas de concreto — Procedimento (ABNT, 2014). A mesma altura foi adotada para as lajes treliçadas.

Como critérios de projeto, considerou-se as lajes nervuradas como bidirecionais com utilização de cubetas como material de enchimento. As lajes treliçadas foram projetadas com armaduras unidirecionais painéis de EPS como material de enchimento.

### 3.6.2 Vigas

A largura mínima das vigas foi definida como sendo 15cm, de acordo com o item 3.2.2 da NBR 6118 - Projeto de estruturas de concreto — Procedimento (ABNT, 2014), para garantir o alojamento das armaduras e respeitar os espaçamentos. A altura mínima das vigas foi calculada utilizando a equação 3.6.2.1, adotando alturas de sessão múltiplas de 5cm e não ultrapassando valores superiores a distância de piso a piso menos a altura das portas e janelas.

$$h \cong \frac{L}{12} \quad (3.6.2.1)$$

Onde

$h$  é a altura da viga

$L$  é vão do trecho da viga analisada

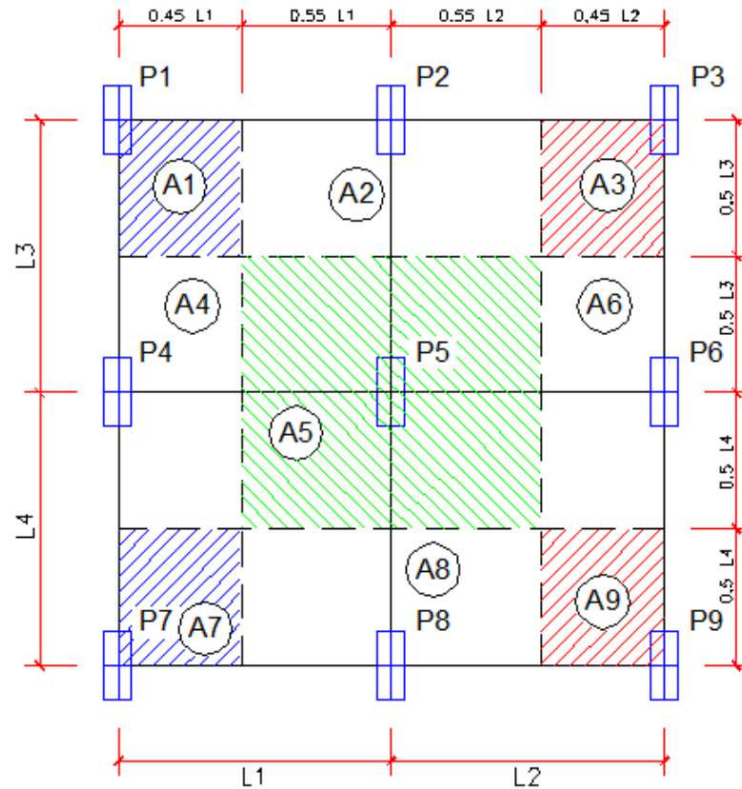
### 3.6.3 Pilares

As dimensões do pré-dimensionamento dos pilares foram definidas de acordo com o método das áreas de influência, onde determinou-se áreas do pavimento cujo carregamento seria absorvido pelo pilar em análise; essas áreas são encontradas de acordo com dimensões relacionadas a cada pilar, como exemplificado na figura 10, os comprimentos utilizados são:

0,45L: pilares de canto ou de extremidade na direção de menor dimensão

0,55L: complemento dos vãos do caso anterior;

0,50L: pilares de canto ou de extremidade na direção de maior dimensão  
(Araújo Junior, 2017, pg. 19)



**Figura 10: Área de influência dos pilares**

**Fonte: Araújo Junior, 2017, pg.20**

A área de influência dos pilares deve ser calculada de acordo com a equação 3.6.3.1, a tensão ideal de cálculo é determinada pela equação 3.6.3.2 e o coeficiente de majoração pela equação 3.6.3.3 de acordo com o valor obtido na tabela 10, determinado pelo tipo de pilar.

$$A_c = \frac{\alpha \cdot A \cdot P(n+0,7)}{\sigma_{id}} \quad (3.6.3.1)$$

$$\sigma_{id} = (0,85 \cdot f_{cd} + \rho \cdot \sigma_{sd}) \quad (3.6.3.2)$$

$$\alpha = \gamma_f \cdot \alpha_o \quad (3.6.3.3)$$

Onde

$\alpha$  = coeficiente de majoração da carga  
 $A$  = área de influência de cada pilar  
 $P$  = carga uniformemente distribuída na laje  
 $n$  = número de repetições de pavimento  
 $0,7$  = coeficiente de cobertura  
 $\sigma_{id}$  = tensão ideal de cálculo  
 $\rho$  = taxa geométrica de armadura  
 $\sigma_{sd}$  = tensão no aço relativa a deformação específica  
 $\gamma_f$  = coeficiente de ponderação da carga  
 $\alpha_o$  = coeficiente de majoração da carga em função da redução das situações de flexão composta normal/oblíqua em uma situação de compressão centrada (Araújo Junior, 2017, pg.21)

**Tabela 10: Coeficiente de majoração da carga**

<b>Pilares</b>	<b><math>\alpha_o</math></b>
Intermediário	1,285
Extremidade	1,570
Canto	1,785

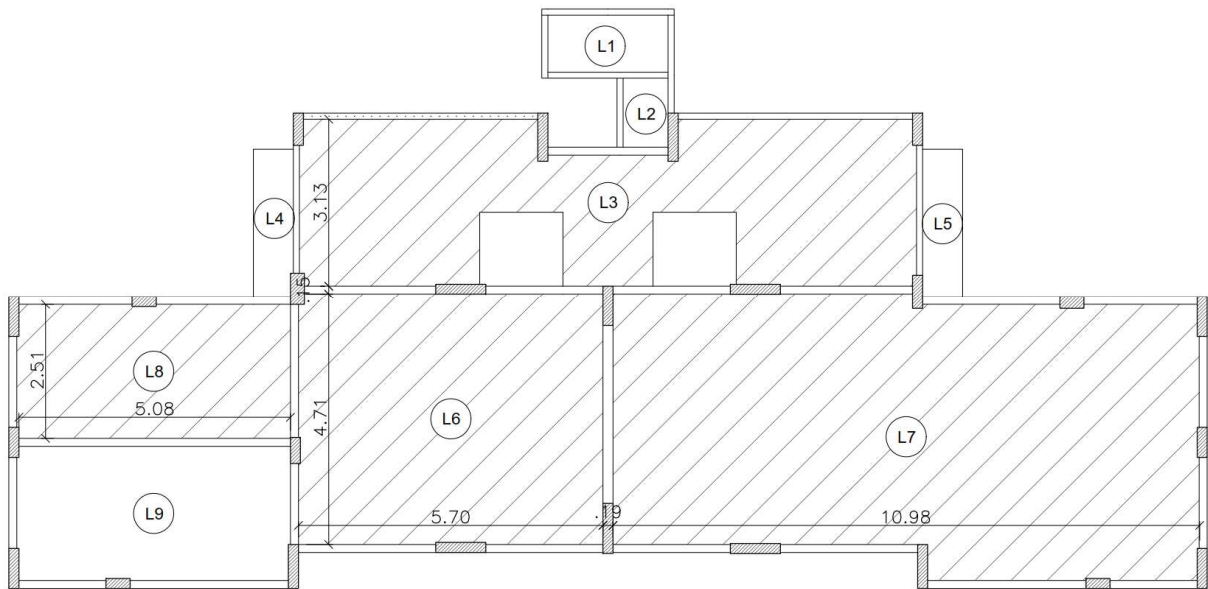
**Fonte: Araújo Junior, 2017, pg.21**

### 3.7 DETERMINAÇÃO DO QUANTITATIVO DE MATERIAIS

Para realização deste estudo, foi utilizado o software de cálculo estrutural AltoQI Eberick V8 para a análise e detalhamento dos sistemas estruturais. Este software permitiu a modelagem estrutural do edifício-exemplo utilizado, auxiliando no dimensionamento das lajes e possibilitando a extração das informações que foram utilizadas para comparar os resultados finais.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

As análises apresentadas nos resultados e discussões conseguintes são referentes as lajes 3, 6, 7 e 8 hachuradas na figura 11.



**Figura 11: Lajes escolhidas para serem analisadas**

**Fonte: Autor do trabalho**

### 4.1 FLECHAS

#### 4.1.1 Lajes Maciças

**Tabela 11: Deslocamentos imediatos de acordo com as sessões das lajes maciças**

Pavimento	Flechas (cm)				Sessões (cm)			
	L3	L6	L7	L8	L3	L6	L7	L8
Academia	-0,88	-1,29	-2,27	-0,87	13,00	15,00	19,00	14,00
Tipo	-1,44	-1,72	-2,09	-1,02	12,00	14,00	22,00	13,00
Garagem	-1,00	-1,65	-1,36	-0,52	13,00	13,00	22,00	13,00

**Fonte: Autor do trabalho**



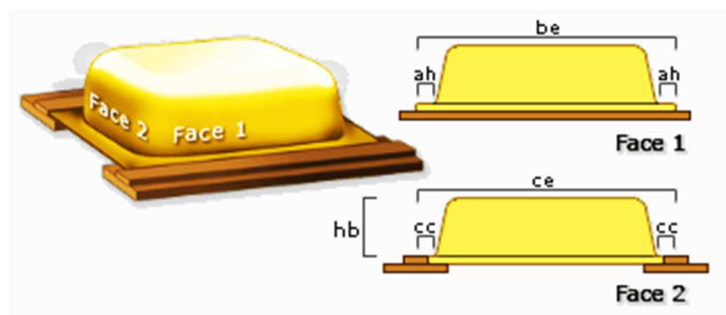
De acordo com a tabela 11, nota-se uma variação de deslocamento na laje 3 de -0,12 entre os pavimentos academia e garagem, tendo as duas a mesma altura, esta variação se deve ao fato do aumento da sobrecarga acidental entre estes dois pavimentos na ordem de 200 kgf/m<sup>2</sup> a mais no pavimento academia, gerando assim, maior deslocamento imediato.

Nas lajes 7 e 8 percebe-se, também, variações de deslocamentos entre os pavimentos garagem e tipo com as mesmas alturas, porem o pavimento garagem tem 150 kgf/m<sup>2</sup> de sobrecarga acidental a mais que o pavimento tipo, esse aumento na flecha se deve as cargas localizadas de paredes presentes no pavimento tipo, tornando as cargas totais das lajes superiores aos do pavimento garagem.

Baseando-se na análise da tabela 11, os carregamentos e os vãos das lajes influenciam diretamente nos deslocamentos imediatos, tornando-se necessário aumentar as alturas das lajes consideravelmente para vencer grandes vãos e suportar maiores carregamentos sem ultrapassar o limite de deslocamento proposto, visando a aceitabilidade sensorial.

#### 4.1.2 Lajes Nervuradas

As cubetas de tem suas dimensões representadas pelas siglas hb/be/ce/cc, esquematizadas na figura 12.



**Figura 12: Esquematização das medias das cubetas utilizadas**

**Fonte: AutoQi Eberick V8**

**Tabela 12: Deslocamentos imediatos de acordo com as sessões das lajes nervuradas**

Pavimento	Flechas (cm)				Sessões (cm)			
	L3	L6	L7	L8	L3	L6	L7	L8
Academia	-0,40	-0,33	-2,07	-0,37	35,00	35,00	35,00	35,00
Tipo	-0,42	-0,36	-2,74	-0,54	35,00	35,00	38,00	35,00
Garagem	-0,39	-0,28	-2,06	-0,41	35,00	35,00	35,00	35,00

**Fonte: Autor do trabalho**

Com objetivo de tornar a análise das lajes nervuradas mais prática e condizente com a realidade de uma obra, considerou-se a disponibilidade de apenas dois tipos de cubetas para execução da laje; a primeira com dimensões de 18/60/60/4.0, utilizada para o dimensionamento das lajes menos solicitadas que não apresentaram grandes problemas relacionados as flechas e a segunda com dimensões de 30/80/80 para o dimensionamento das lajes que possuíam maiores vãos livres e, conseqüentemente, indicaram flechas mais expressivas. Para o dimensionamento das lajes analisadas na tabela 12, foram utilizadas as cubetas de 30/80/80/6.2 com dimensões detalhadas na figura 12.

De acordo com a NBR 6118 - Projeto de estruturas de concreto — Procedimento (ABNT, 2014), “A espessura da mesa, quando não existirem tubulações horizontais embutidas, deve ser maior ou igual a 1/15 da distância entre as faces das nervuras e não menor que 4 cm.”, para atender este critério, foi necessário aumentar a espessura das mesas das lajes que foram dimensionadas utilizando as cubetas 30/80/80/6.2 para 5 cm na maioria dos casos, com exceção da laje 7 do pavimento tipo que necessitou de 8 cm de espessura de mesa.

Analisando a tabela 12, percebe-se que as flechas da laje 7 sofreram pequenas variações de flechas e sessões entre os pavimentos academia e garagem, devido a espessura mínima da mesa de cobertura de 5 cm ser suficiente para suportar as solicitações sem gerar grandes flechas, porém se comparadas com o pavimento tipo, nota-se um leve aumento na flecha da laje 7, mesmo com altura de mesa 3 cm superior. Comparando o pavimento tipo com o pavimento academia nota-se que, apesar da sobrecarga acidental do pavimento academia ser mais que o triplo do pavimento tipo, a presença de paredes como cargas localizadas resultou na necessidade de aumentar a espessura da mesa para diminuir a flecha de forma que ficasse dentro dos critérios de dimensionamento pré-estabelecidos.

Baseando-se nas informações apresentadas na tabela 12, percebe-se que a altura mínima adotada de 5 cm de espessura de mesa foi suficiente para garantir que praticamente todas as lajes

atendessem as limitações de flecha máxima adotadas, com exceção da laje 7 no pavimento tipo.

#### 4.1.3 Lajes Treliçadas

Os painéis de EPS utilizados tem suas dimensões representadas pelas siglas hb/be/ce/cc, esquematizadas na figura 13.

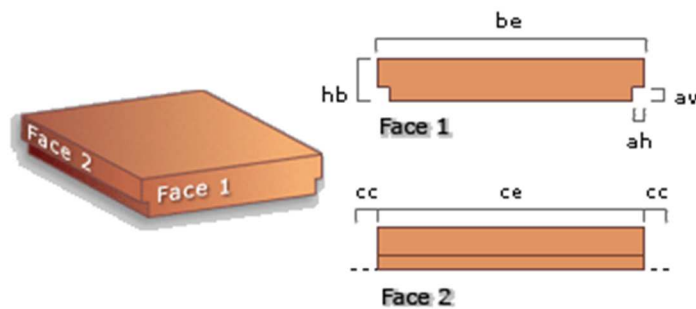


Figura 13: Esquematização das medidas dos painéis de EPS utilizados

Fonte: AltoQi Eberick V8

Tabela 13: Deslocamentos imediatos de acordo com as sessões das lajes treliçadas

Pavimento	Flechas (cm)				Altura total (cm)			
	L3	L6	L7	L8	L3	L6	L7	L8
Academia	-1,01	-1,64	-1,89	-0,85	24,00	34,00	36,00	24,00
Tipo	-1,07	-1,71	-2,04	-1,10	24,00	34,00	37,00	29,00
Garagem	-0,73	-2,00	-1,62	-0,45	24,00	29,00	34,00	24,00

Fonte: Autor do trabalho

Tabela 14: Dimensão dos blocos de enchimento dos Painéis de EPS

Pavimentos	Dimensão do Enchimento hb/be/ce/cc (cm)			
	L3	L6	L7	L8
Academia	B20/30/125/4.5	B30/30/125/4.5	B30/30/125/6	B20/30/125/4.5
Tipo	B20/30/125/4.5	B30/30/125/4.5	B30/30/125/6	B25/30/125/4.5
Garagem	B20/30/125/4.5	B25/30/125/4.5	B30/30/125/4.5	B20/30/125/4.5

Fonte: Autor do trabalho

**Tabela 15: Tipos de perfis treliçados utilizados**

Pavimentos	Perfil treliçado x nº de repetições			
	L3	L6	L7	L8
Academia	TR 20756 x 1	TR 20756 x 1	TR 20756 x 1	TR 12646 x 1
Tipo	TR 20756 x 1	TR 20756 x 1	TR 20756 x 1	TR 16856 x 1
Garagem	TR 20756 x 1	TR 12646 x 1	TR 16856 x 1	TR 12646 x 1

**Fonte: Autor do trabalho**

Para o dimensionamento das lajes treliçadas, utilizou-se painel de EPS como material de enchimento entre as armaduras, possibilitando a adoção de diferentes alturas e tamanhos de painéis, diferentemente das lajes nervuradas que tiveram a restrição dos tamanhos de cubetas. Os detalhes relacionados as especificações dos perfis treliçados estão apresentados no “ANEXO A”.

Analisando as tabelas 13, 14 e 15, percebe-se que as variações das flechas na laje 3 são relativamente pequenas, isto ocorreu devido ao perfil treliçado adotado ter dimensões que garantiram a resistência a flexão da laje, mesmo quando submetida as variações de carregamento dos pavimentos estudados.

Na laje 6, de acordo com as tabelas 13, 14 e 15, percebe-se que houve a necessidade de mudar o tipo de treliça entre os pavimentos academia e garagem para garantir que a laje atendesse os critérios de flecha máxima, porém a mudança do perfil treliçado não foi suficiente, tornando-se necessária a mudança das dimensões do bloco de enchimento utilizado.

As dimensões “cc” dos blocos de enchimento foram adotadas como sendo de 4,5 cm, por padrão, para todas os blocos de enchimento, dando espaço suficiente para locação dos perfis treliçados, porem houve a necessidade de aumentar esta dimensão para 6 cm na laje 7 do pavimento academia e tipo, para aumentar o volume de concreto entre os blocos de enchimento, favorecendo a resistência a flexão da laje.

Analisando as tabelas 13, 14 e 15, nota-se que são variadas as medidas que o projetista pode adotar para controlar as flechas nas lajes treliçadas, sendo elas; a mudança das dimensões do material de enchimento, que proporciona maior rigidez a peça pois, quanto mais alto o bloco de enchimento, mais concreto será necessário para preencher o espaço entre os blocos; a mudança do perfil treliçado, que colabora diretamente com o enrijecimento da laje e, conseqüentemente, aumenta a resistência a flexão; o aumento do espaço entre os blocos de enchimento, aumentando o volume de concreto entre os mesmos e, de modo conseqüente, aumentando a rigidez da laje.

## 4.2 MOMENTOS FLETORES

### 4.2.1 Positivos nas direções X e Y

**Tabela 16: Momentos fletores positivos**

Pavimentos	Momentos na direção X (kgf.m/m)				Momentos na direção Y (kgf.m/m)			
	L3	L6	L7	L8	L3	L6	L7	L8
<b>Maciça</b>	853,78	1829,99	9793,03	705,47	1828,28	1693,05	6853,18	1046,17
<b>Nervurada</b>	2837,58	1939,39	5754,3	3429,82	2410,87	2315,21	8821,73	1574
<b>Treliçada</b>	2314,84	5903,09	9915,37	3686,72	277,7	1159,94	4081,29	0

**Fonte: Autor do trabalho**

De acordo com os dados apresentados na tabela 16, relacionado aos momentos na direção “X”, percebe-se que as lajes nervuradas e treliçadas tiveram momentos parecidos em relação as lajes 3 e 8, porem muito superiores aos momentos da maciça, esse fato pode ser explicado pelas lajes apresentadas terem vãos livres “pequenos”, que contribuiram para reduzir os momentos na laje maciça, visto que a altura foi de apenas 13 cm. No caso da laje nervurada, o momento foi alto devido ao superdimensionamento da cubeta utilizada, aumentando drasticamente o volume de concreto em relação a laje 3, no caso da laje treliçada, este momento foi alto devido ao comprimento do bloco de enchimento adotado, sendo este de 125 cm de comprimento, reduzindo assim a quantidade de armadura que pode ser utilizada ao longo do vão. Pode-se constatar essa afirmação observando os momentos na direção “Y”, onde a laje treliçada apresenta momento extremamente reduzido, devido a largura do bloco de enchimento ser de apenas 30 cm, aumentando a quantidade de armadura que pode ser utilizada ao longo do vão.

Observando os dados apresentados relacionados a laje 7, percebe-se que os momentos das lajes maciça e treliçada são bem próximos na direção “X”, porem distantes do momento da laje nervurada, isso ocorreu devido a necessidade de grande altura na laje maciça para suportar as armaduras necessárias, aumentando o volume de concreto e, conseqüentemente, o momento fletor. No caso da laje treliçada, o momento pode ser explicado pela dimensão de 125 cm do bloco de enchimento.

#### 4.2.2 Negativos nas direções X e Y

**Tabela 17: Momentos fletores negativos**

Pavimentos	Momentos na direção X (kgf.m/m)				Momentos na direção Y (kgf.m/m)			
	L3	L6	L7	L8	L3	L6	L7	L8
<b>Maciça</b>	-2331,4	-6467	-7986,8	-2530,6	-4039,2	-872,5	-18832,2	-1021,6
<b>Nervurada</b>	-2901,2	-4727,2	-8077,4	-3430,3	-5305,5	-6806,7	-8551,3	-934,4
<b>Treliçada</b>	-3599,6	-269,5	-18601	0	-162,3	-96,8	-3104,3	0

**Fonte: Autor do trabalho**

Considerando os dados analisados na tabela 17, observa-se os momentos negativos da laje 3 maciça e nervurada na direção “Y” foram superiores, quando comparados aos da direção “X”, esse aumento dos momentos pode ser explicado pelo fato da laje 3 estar engastada nas duas direções, sendo que na direção “X” os engastes principais são com lajes em balanço de pequenas dimensões, favorecendo o equilíbrio dos momentos entre as duas, diferentemente dos engastes da direção “Y”, que são com as lajes 7 e 6, que apresentam grandes dimensões e, conseqüentemente, grandes momentos, resultando em valores desfavoráveis no equilíbrio dos momentos.

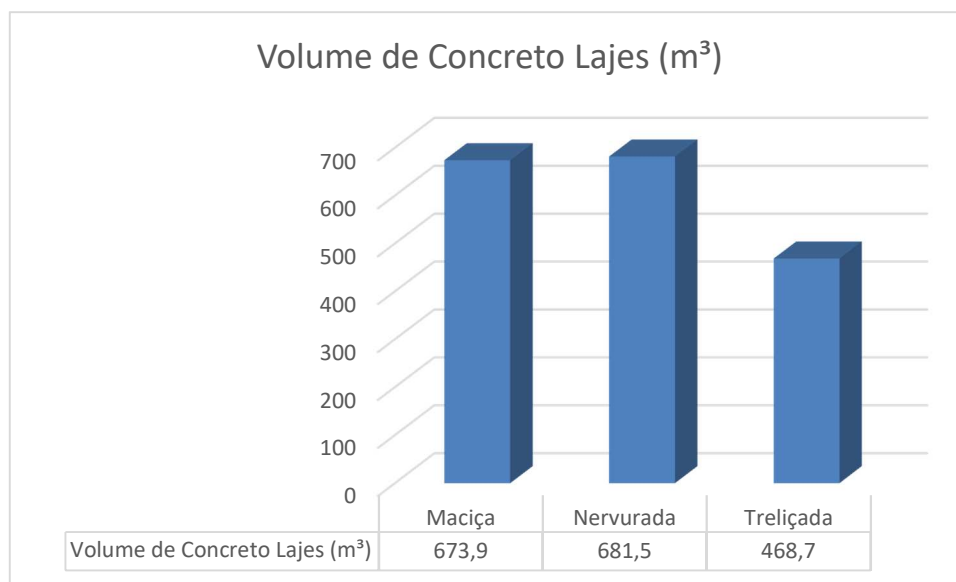
Analisando os dados relacionados a laje 7 entre as lajes nervuradas e maciças na direção “Y”, percebe-se que o momento da laje maciça foi superior ao dobro do momento da laje nervurada, isso ocorreu devido a laje 7 ser a laje mais solicitada da estrutura, necessitando de grande altura de laje maciça para garantir que o deslocamento esteja dentro dos limites de aceitabilidade sensorial previamente definidos, visto que a laje maciça não tem materiais de enchimento para diminuir o volume de concreto utilizado, acarretando em um peso próprio muito elevado, resultando no aumento dos momentos.

Os momentos da laje treliçada 6 foram baixos nas direções “X” e “Y” devido aos pequenos vãos dessa laje, não sendo muito solicitadas e ao fato das lajes treliçadas não serem engastadas com as outras lajes, impossibilitando que ocorra o equilíbrio dos momentos com lajes mais solicitadas, como ocorre na laje 6 maciça e nervurada por serem engastadas com as lajes 3 e 7.

Analisando as tabelas 16 e 17, percebe-se que a laje 8 treliçada apresentou apenas momento positivo na direção “X”, não apresentando momentos positivos na direção “Y” ou momentos negativos em qualquer uma das direções. Isso ocorreu devido as dimensões da laje

8 permitirem que ela seja dimensionada de forma unidirecional, ou seja, só há armadura na direção “X”, dispensando também, o uso de armaduras negativas.

#### 4.3 VOLUME DE CONCRETO DAS LAJES



**Figura 14: Comparação entre os volumes de concreto das lajes estudadas**

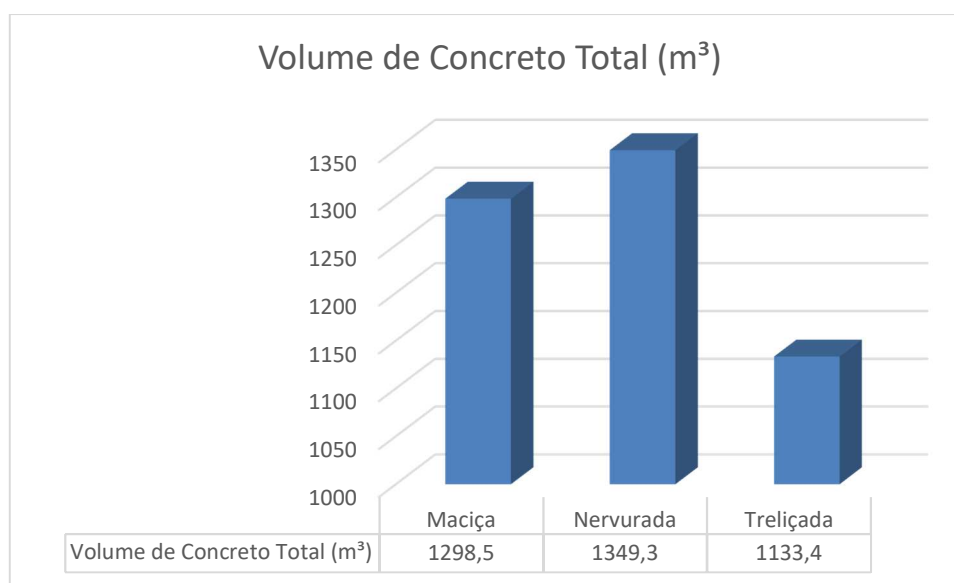
**Fonte: Autor do trabalho**

De acordo com os dados apresentados na figura 14, percebe-se que os volumes de concreto entre as lajes maciça e nervurada sofreram variações pouco expressivas, contrariando a ideia de que a utilização da laje nervurada diminuiria os custos relativos ao volume de concreto. Isso ocorreu devido a adoção de apenas dois tipos de cubeta para o dimensionamento das lajes, sendo que a cubeta presente nos vãos mais solicitados tinha dimensões de 30/80/80, com espaçamento de 6.2 cm entre as cubetas, gerando um volume de concreto de aproximadamente 0,015 m<sup>3</sup> de concreto entra cada cubeta com essas dimensões, este volume de concreto elevado entre as cubetas foi o responsável pelo alto volume final de concreto, resultando na perda da vantagem de redução de volume de concreto quando utilizado o sistema construtivo de lajes nervuradas.

Analisando a figura 14, nota-se que o volume de concreto das lajes treliçadas foi, aproximadamente, 30% menor que o volume de concreto das lajes maciças e nervuradas, essa redução significativa foi ocasionada pela utilização de painéis de EPS como material de

enchimento, visto que este é um material descartável na obra, dando a liberdade ao projetista estrutural de utilizar as dimensões necessárias para cada laje isoladamente, sem superdimensionar as lajes devido a limitada disponibilidade de material de enchimento, como ocorrido na laje nervurada.

A utilização de cubetas para execução de lajes nervuradas deve ser realizada de forma cautelosa, cabendo ao projetista o conhecimento prévio das dimensões de cubetas disponíveis para utilização, pois caso essas cubetas tenham dimensões muito elevadas para o porte da obra em questão, pode-se perder a vantagem de utilização desse tipo de material de enchimento para redução dos volumes de concreto das lajes.



**Figura 15: Comparação entre os volumes de concreto total da estrutura**

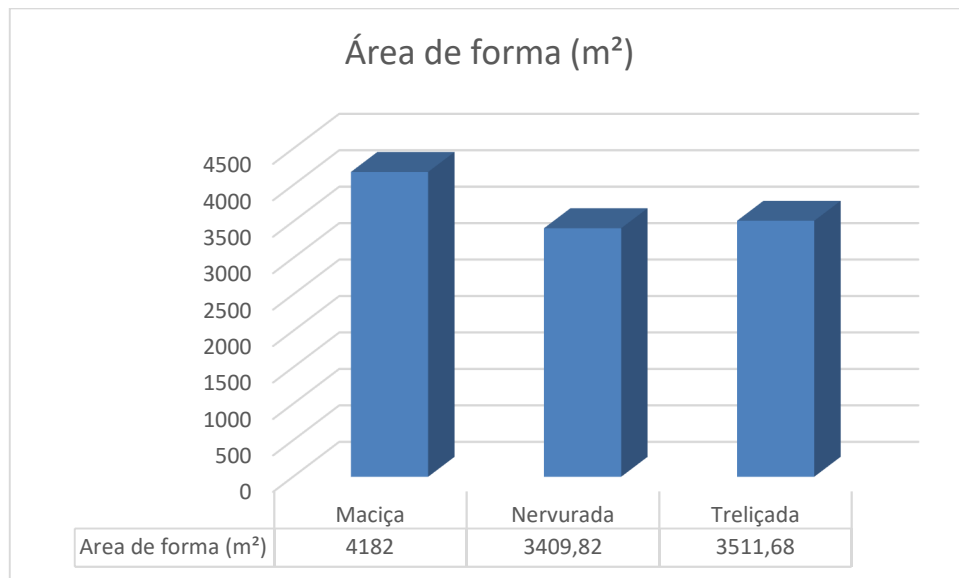
**Fonte: Autor do trabalho**

De acordo com os dados apresentados na figura 15, o volume total de concreto da laje nervurada foi 50,8 m<sup>3</sup> superior ao volume da laje maciça, isso se deve ao fato da estrutura de vigas e pilares da laje nervurada ter necessitado de algumas alterações nas sessões para suportar os carregamentos e atender os critérios de largura de apoio e flechas nas vigas.

Quando comparadas a laje treliçada com a maciça, percebe-se uma redução de aproximadamente 12% do volume de concreto, esta redução é praticamente menor que a redução do volume de concreto das lajes treliçadas isoladas, pois, igualmente a laje nervurada, houve a necessidade de alterações nas sessões de vigas e pilares.



#### 4.4 ÁREA DE FORMA



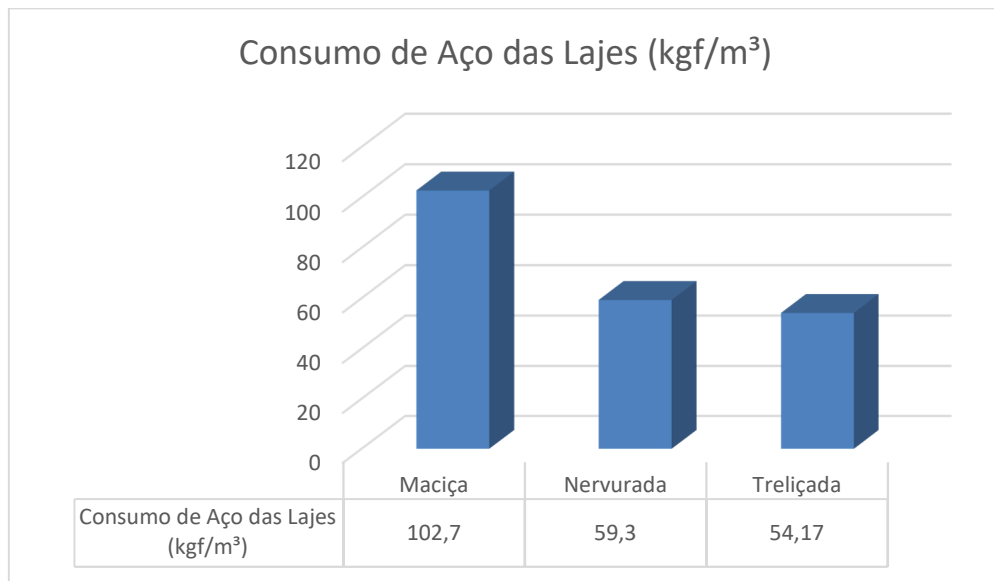
**Figura 16: Comparativo das áreas de forma das lajes da edificação estudada**

**Fonte: Autor do trabalho**

A figura 16 apresenta o quantitativo de fôrma para cada sistema de laje analisado, percebe-se que a laje maciça necessita de cerca de 21% mais área de forma que as lajes nervuradas e treliçadas pelo fato de não utilizar materiais de enchimento e dificultar a montagem, tornando-se mais trabalhosa na hora da execução da obra.

Quando comparadas as áreas de forma das lajes treliçadas e nervuradas, houve uma redução de 3% de área de forma para a laje nervurada, porém as cubetas utilizadas na laje nervurada podem ser reutilizadas no mínimo 20 vezes, enquanto os painéis de EPS utilizados nas lajes treliçadas não pode ser reutilizado. Essa diferença de tipo de material de enchimento pode ser significativa no custo final da edificação.

#### 4.5 CONSUMO DE AÇO



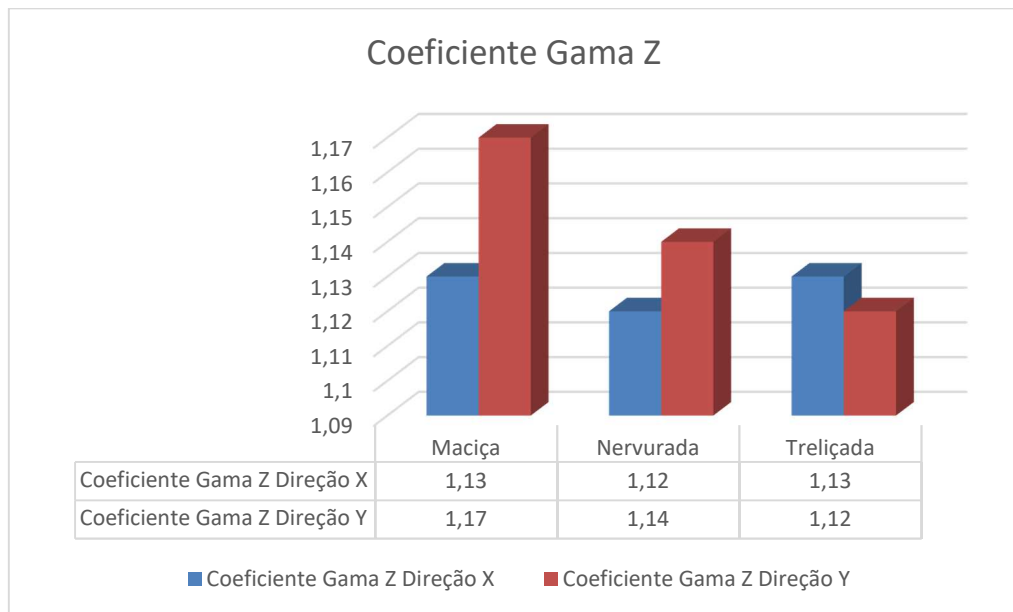
**Figura 17: Consumo de Aço nas lajes estudadas**

**Fonte: Autor do trabalho**

Avaliando os dados apresentados na figura 17, percebe-se que o consumo de aço da laje maciça foi, aproximadamente, 73% superior ao consumo das demais lajes. Essa diminuição drástica do consumo de aço pode ser explicada devido ao maior espaçamento entre as armaduras das lajes nervuradas e treliçadas, pois este espaçamento depende diretamente das dimensões dos blocos de enchimento utilizados, sejam eles cubetas ou painéis de EPS.

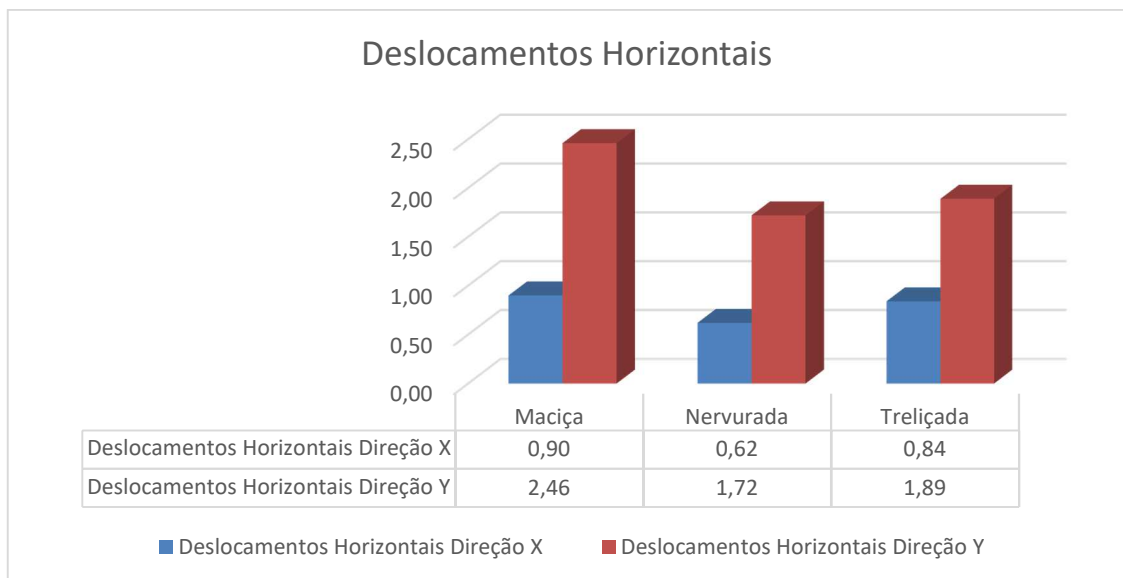
O consumo de aço da laje maciça foi superior devido aos grandes vãos adotados no projeto estrutural, principalmente das lajes 3, 6 e 7, que necessitaram de maiores alturas para suportar os carregamentos e seu peso próprio sem apresentarem flechas fora dos limites estabelecidos. Esse aumento das espessuras gerou solicitações maiores e, conseqüentemente, necessitou de armaduras mais robustas, que pesam mais e contribuem diretamente na análise do consumo de aço das lajes.

#### 4.6 COEFICIENTE GAMA-Z



**Figura 18: Coeficientes gama Z resultante do processamento das estruturas analisadas**

**Fonte: Autor do trabalho**



**Figura 19: Deslocamentos horizontais resultantes da análise estática linear das estruturas**

**Fonte: Autor do trabalho**

Os coeficientes gama-z apresentados na figura 18 foram todos superiores a 10% dos efeitos de 1ª ordem, sendo necessário considerar a estrutura como sendo de nós moveis e, consequentemente, considerar os esforços globais de 2ª ordem. Apesar da maioria dos

coeficientes gama-z terem apresentado valores semelhantes, destaca-se o coeficiente na direção “Y” da laje maciça como sendo o maior valor, isso se deve a soma dos fatos de que a estrutura com lajes maciças é a que apresenta maiores solicitações e a direção “Y” é esbelta na maior parte da edificação, contribuindo assim para o aumento dos esforços globais de 2ª ordem.

A figura 19 apresenta os deslocamentos resultantes da análise estática linear das estruturas estudadas, percebe-se que todos os deslocamentos se mantiveram dentro do limite máximo de 2,82 cm, sendo o maior deslocamento horizontal resultante da estrutura com lajes maciças, pelo mesmo motivo do aumento do coeficiente gama-z em relação as outras estruturas com lajes nervuradas e treliçadas.

## 5 CONCLUSÕES

Com base nos dados apresentados, conclui-se que a laje nervurada com cubetas e a laje treliçada com painéis de EPS podem ser aliadas na redução do consumo de aço por terem, maiores distâncias entre as armaduras, afetando diretamente o custo da edificação. Por outro lado, apesar da laje nervurada utilizar fôrmas que podem ser reutilizadas, reduzindo o custo de fôrmas em relação a laje treliçada, o aumento do consumo de concreto no sistema construtivo de laje nervurada influencia diretamente no aumento do custo da edificação, tornando necessária a análise, pelo projetista, de qual sistema seria mais vantajoso.

Os momentos fletores das lajes maciças em lajes que tinham pelo menos umas das direções pequenas e, conseqüentemente, pequenas alturas foram inferiores aos momentos das lajes nervuradas, visto que essas lajes utilizam materiais de enchimento que aumentam a altura da laje, contribuindo para o aumento dos momentos fletores. A utilização de lajes treliçadas para lajes com pequenos vãos é vantajosa na redução dos momentos fletores devido a possibilidade de trabalhar com armaduras em apenas uma das direções.

A laje maciça apresentou valores de área de aço, volume de concreto e área de formas superiores as outras lajes analisadas, sendo a pior escolha para utilização em lajes que necessitam vencer grandes vãos, por ser mais pesada e necessitar de maiores alturas para suportar seu peso próprio sem apresentar flechas que ultrapassassem os valores estabelecidos.

A laje treliçada seria a melhor escolha para o projeto da edificação estudada, pois apresentou baixo consumo de concreto, fôrmas e aço, quando comparada com as demais. Apesar da laje nervurada ter apresentado o maior volume de concreto entre as lajes analisadas, sua utilização pode ser recomendada devido ao consumo de aço ser semelhante ao da laje treliçada e ao fato de que as fôrmas tipo cubetas utilizadas na laje nervurada podem ser reutilizadas no mínimo 20 vezes.

Os coeficientes gama-z e deslocamentos horizontais sofreram pequenas variações quando comparados os três tipos de sistema estruturais de laje, não dispensando a necessidade da análise da estrutura como sendo de nós moveis e necessitando da verificação dos esforços de 2ª ordem.

## 6 REFERÊNCIAS

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

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

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8681 – Ações e segurança nas estruturas - Procedimento**. Rio de Janeiro. ABNT, 2013.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8953: Concreto para fins estruturais – Classificação por grupos de resistência**. Rio de Janeiro. ABNT, 2015.

ARAÚJO, J. M. **Curso de concreto armado** 4. ed. Rio grande: Dunas, 2014. v. 2.

ARAÚJO JUNIOR, Roldão Pimentel de. **Concepção Estrutural: Concreto Armado**. 2017. Disponível em: <<https://conecta.ulbra-to.br/turmas/2017/1/0578/projeto-de-estruturas-de-concreto-armado-ii/material-didatico/02A2DFD6-09AD-43B1-88B2-6F542232F4BC>>. Acesso em: 21 out. 2017.

BASTOS, Paulo Sérgio dos Santos. **LAJES DE CONCRETO**. 2015. 119 f. - Curso de Engenharia Civil, Universidade Estadual Paulista, Bauru, 2015. Disponível em: <<http://wwwp.feb.unesp.br/pbastos/concreto1/Lajes.pdf>>. Acesso em: 15 abr. 2017.

BRANDALISE, Guilherme Meurer; WESSLING, Luan Ives. **Estudo comparativo de custo entre laje maciça simples e laje de vigotas pré-fabricadas treliçadas em edifícios de até quatro pavimentos no município de pato branco, paraná, brasil**. 2015. 103 f. TCC (Engenharia Civil) - UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ, Pato Branco, 2015.

COELHO, E.L; SOUZA, R.M; GRECO. **Estudo Comparativo entre Sistemas Estruturais com Lajes Maciças, Nervuradas e Lajes Lisas**. In: SIMPÓSIO DE MECÂNICA COMPUTACIONAL, 9., 2010, São João Del Rei. Anais... São João Del Rei: Universidade Federal de São João Del Rei, 2010. 10 p. Disponível em: <<https://ufsj.edu.br/simmecc2010/pagina/mecsol/MES-03.pdf>>. Acesso em: 6 dez. 2017.

**ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS DE TRELIÇAS GERDAU**. Disponível em: <<https://www.gerdau.com/br/pt/produtos/trelisca-gerdau#ad-image-0>>. Acesso em: 04 nov. 2017.

FLÓRIO, Márcio Cardozo. **Projeto e execução de lajes unidirecionais com vigotas de concreto armado**. 2003. 240 f. Dissertação (Mestrado) (Engenharia Civil) - Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2004.

GIONGO, José Samuel. **Concreto armado: Projeto estrutural de edifícios**. Apostila – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, SP, 2007. Disponível em: <<http://www.gdace.uem.br/romel/MDidatico/EstruturasconcretoII/ProjetoEstruturaldeEdificios-J.%20S.Gingo-EESC-Turma22007.pdf>> Acesso em: 05 dez. 2017.

KIMURA, Alio. **Informática aplicada em estruturas de concreto armado: cálculos de edifícios com o uso de sistemas computacionais**. 1ª Ed. São Paulo: Editora PINI LTDA, 2007.

LOPES, André Felipe de Oliveira. **Estudo técnico comparativo entre lajes maciças e nervuradas com diferentes tipos de materiais de enchimento**. 2012. 131 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Núcleo de Tecnologia, Universidade Federal de Pernambuco, Caruaru, 2012. Disponível em: <[https://www.ufpe.br/eccaa/images/documentos/TCC/2012.1/tcc2\\_versaofinal201201 - andre felipe de oliveira lopes.pdf](https://www.ufpe.br/eccaa/images/documentos/TCC/2012.1/tcc2_versaofinal201201 - andre felipe de oliveira lopes.pdf)>. Acesso em: 17 abr. 2017.

MELO, Carlos E. E. **Manual Munte de projetos em pré-fabricados de concreto**. São Paulo: Editora Pini, 2004.

PRODANOV, Cleber Cristiano; FREITAS, Ernani Cesar de. **Metodologia do trabalho científico: Métodos e Técnicas da Pesquisa e do Trabalho Acadêmico**. 2. ed. Nova Hamburgo: Universidade Feevale, 2013. 277 p. Disponível em: <<http://www.feevale.br/Comum/midias/8807f05a-14d0-4d5b-b1ad-1538f3aef538/E-book Metodologia do Trabalho Cientifico.pdf>>. Acesso em: 12 maio 2017.

SANTOS, Roberto E. dos. **A cultura do concreto armado no brasil: educação e deseducação dos produtores do espaço construído. Anais do iv congresso brasileiro de história da educação**. Universidade Católica de Goiânia. Goiânia, 2006. Disponível em: [http://www.mom.arq.ufmg.br/mom/05\\_biblioteca/acervo/santos\\_cultura/santos\\_cultura.htm](http://www.mom.arq.ufmg.br/mom/05_biblioteca/acervo/santos_cultura/santos_cultura.htm). Acesso em: 14 abr. 2017, 19:30.

SOUZA, Vicente C. M.; CUNHA, Albino J. P. **Lajes em concreto armado e protendido**. 2ª Edição. Niterói: EDUFF, 1998.

**ANEXO A – TABELA DAS CARACTERÍSTICAS DAS ARMAÇÕES TRELIÇADAS**



**Tabela 18: Especificações técnicas das armações treliçadas**

Designação Gerdau	Designação	Peso (kg/m)	Altura (cm)	Banzo superior (mm)	Diagonal (mm)	Banzo inferior (mm)
TG 12 M	TR 12645	0,886	12	6,0	4,2	5,0
TG 12 R	TR 12646	1,016	12	6,0	4,2	6,0
TG 16 L	TR 16745	1,032	16	7,0	4,2	5,0
TG 16 R	TR 16746	1,168	16	7,0	4,2	6,0
TG 20 L	TR 20745	1,111	20	7,0	4,2	5,0
TG 20 R	TR 20756	1,446	20	7,0	5,0	6,0
TG 25 L	TR 25856	1,686	25	8,0	5,0	6,0
TG 25 R	TR 25857	1,855	25	8,0	5,0	7,0
TG 8 L	TR 08644	0,735	8	6,0	4,2	4,2
TG 8 M	TR 08645	0,821	8	6,0	4,2	5,0

Fonte: <https://www.gerdau.com/br/pt/produtos/trelica-gerdau#ad-image-0>