

**Wanessa Grossmann**[nwanessagrossmann@hotmail.com](mailto:nwanessagrossmann@hotmail.com)<http://orcid.org/0000-0002-7293-043X>Centro Universitário Ugv, União da Vitória,  
Paraná, Brasil.

## Dimensionamento e comparativo de custos de lajes bidirecionais do tipo maciça e nervurada

### RESUMO

São diversas as possibilidades de modelos de lajes para uma obra, mas qual delas é a mais viável e econômica? Não é possível generalizar esta questão, cada concepção estrutural demanda de uma análise específica. Neste trabalho foi realizado o dimensionamento de dois tipos de lajes bidirecionais, maciça e nervurada com EPS, com o objetivo de encontrar a laje mais econômica e viável para uma edificação residencial utilizada como estudo de caso. O cálculo foi executado com o auxílio de planilhas eletrônicas, baseado em metodologias e critérios da ABNT junto a grandes autores da área, expostos nas referências bibliográficas. Para a composição de custos foi utilizada a tabela SINAPI do Paraná. Nesse contexto, a laje nervurada apresentou reduções nas taxas de armaduras e cargas resultantes de 43% e 52%, respectivamente, proporcionando economia de 11% quando foi avaliado o custo de construção das lajes. Além disso, as reduções nos valores das reações de apoio apresentadas pelas lajes nervuradas variaram entre 44,4% e 53,7%, quando comparadas as reações de apoio com as oriundas das lajes maciças. Em contrapartida, a laje maciça apresentou espessura 4 cm inferior, podendo ser também um critério de escolha para outras obras.

**PALAVRAS-CHAVE:** Laje maciça, laje nervurada, laje bidirecional.

## 1 INTRODUÇÃO

Destinadas a receber a maioria das cargas de uma edificação, as lajes são elementos estruturais planos, com duas dimensões muito maiores que a terceira dimensão, a espessura. Seu principal ponto apoio, ao qual transmite suas cargas, figura como as vigas. Entretanto, também podem estar ligadas diretamente aos pilares, definidas como laje lisa, com ou sem capitel (BASTOS, 2021).

Existem diferentes tipos de lajes, Neto (2017) as classifica quanto à sua composição em: laje maciça, laje nervurada e laje pré-moldada, e quanto aos seus apoios como: simplesmente apoiada, parcialmente engastada e engastada. Para Carvalho e Pinheiro (2009), devido à sua grande superfície, a laje é, normalmente, a parte da estrutura que mais consome material, deste modo, ao reduzir apenas um centímetro de sua altura é possível chegar a uma considerável economia.

Em conformidade com Araújo (2010), a determinação correta dos esforços solicitantes em lajes é uma das tarefas mais difíceis dentro de uma análise estrutural de edifícios, visto que estes dependem da interação com outros elementos, como as vigas. Em razão disso, requer o emprego de métodos numéricos refinados, como o Método dos Elementos Finitos e computadores de grande capacidade de armazenamento e velocidade.

No entanto, Araujo (2010) denota que antes de utilizando um software sofisticado para a realização de projetos estruturais, é imprescindível que o projetista entenda o funcionamento da estrutura através dos métodos básicos, afinal, estes métodos, utilizados desde os primórdios do projeto estrutural e têm sido comprovados na prática através de estruturas que se mantiveram seguras e em bom funcionamento durante toda a sua vida útil.

Este trabalho refere-se a um estudo de caso, onde são dimensionados dois modelos de lajes bidirecionais, maciça e nervurada, submetidas às mesmas condições de carregamentos e concepção estrutural com vistas a avaliar qual o tipo de laje mais econômico e viável ao caso. O objetivo principal é encontrar a estrutura mais econômica através do levantamento de custos e comparação de resultados. Além disso, também abrange revisões bibliográficas referentes às lajes.

Todos os dimensionamentos foram baseados em bibliografias disponíveis na fundamentação teórica deste artigo e realizados com auxílio de planilhas eletrônicas desenvolvidas no software Excel. O detalhamento do projeto se deu através da metodologia CAD. Ademais, a composição de custos tem como base a Tabela SINAPI/PR de setembro de 2022.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Lajes são elementos estruturais bidimensionais planos, cuja espessura é bem inferior às outras duas dimensões (ARAÚJO, 2010). Por consequência, se comportam como elementos flexíveis (ADORNA, 2021).

A função principal de uma laje é receber cargas de utilização de uma edificação, aplicadas em pisos (ARAÚJO, 2010). Para Bastos (2021) estas variam de acordo com a finalidade arquitetônica do espaço, geralmente são cargas de pessoas, paredes, móveis, veículos, máquinas e equipamentos, entre outros.

Comumente, as lajes são apoiadas em vigas, onde ao receber seus carregamentos, os direciona aos pilares e finalmente às fundações (ARAÚJO, 2010). Todavia, em lajes do tipo lisa (com ou sem capitel) não existem vigas, desta forma, as cargas vão diretamente para os pilares (BASTOS, 2021).

Para Carvalho e Pinheiro (2009), a escolha do sistema estrutural e processo construtivo mais adequado deve ser feita considerando parâmetros básicos, como: tamanho de vãos, finalidade da edificação, projeto arquitetônico, cargas de utilização, disponibilidade de equipamentos, materiais e mão de obra, custos e interação com os demais sistemas construtivos da edificação.

## 2.1 Tipos de lajes

Existem diferentes tipos de lajes, Neto (2017) as classifica quanto à sua composição em: laje maciça, laje nervurada e laje pré-moldada e quanto aos seus apoios como: simplesmente apoiada, parcialmente engastada e engastada.

### 2.1.1 Lajes maciças

Lajes maciças são placas de espessura uniforme (ARAÚJO, 2010), compostas exclusivamente por concreto e armaduras. As lajes maciças não se restringem ao uso de concreto armado e podem também ser executadas com concreto protendido (BASTOS, 2021).

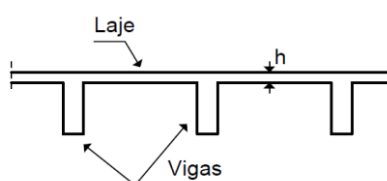
Conforme Bastos (2021), as lajes maciças possuem espessuras que, normalmente, variam de 8 a 15 cm e são projetadas para os mais variados tipos de edificações, como: edifícios de múltiplos pavimentos, escadas, muros de arrimo, reservatórios, edificações de grande porte, pontes, viadutos etc.

Afirma ainda, que, de modo geral, não são aplicadas em edificações residenciais e outras de pequeno porte, abrindo espaço para as lajes nervuradas pré-fabricadas, que apresentam vantagens nos aspectos custo e facilidade de construção.

Em conformidade com Carvalho e Pinheiro (2009), as lajes maciças podem se tornar antieconômicas em caso de grandes vãos. Considerando critérios de deslocamentos transversais e estado limite último, são necessárias lajes de maior espessura e, conseqüentemente, elevado peso próprio. Em contrapartida, alega que em casos de pavimentos com vãos baixos ou médios e cargas não muito elevadas, as lajes maciças apresentam pequena espessura e são comumente empregadas.

Na Figura 01 pode-se observar como funcionam as lajes maciças.

Figura 01 – Exemplo de detecção de linha do horizonte



Fonte: Araújo (2010).

## 2.1.2 Lajes nervuradas

Segundo a NBR 6118:2014, lajes nervuradas são aquelas cujas nervuras podem ser moldadas no local ou pré-fabricada. São caracterizadas por possuírem zona de tração para momentos positivos localizada nas nervuras, entre as quais pode ser colocado material inerte.

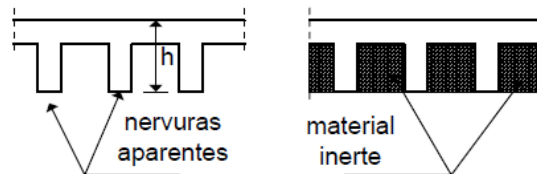
Os materiais de enchimento podem ser diversos, como: isopor, bloco cerâmico furado, bloco de concreto, bloco celular autoclavado, entre outros. As nervuras também podem ficar aparentes, quando não são colocados materiais inertes entre elas (BASTOS, 2021).

Bastos (2021) postula que, a resistência do material de enchimento não contribui para o aumento de resistência da laje, ou seja, não é considerada em cálculos. “São as nervuras, unidas e solidarizadas pela mesa (capa), que proporcionam a necessária resistência e rigidez.” Araújo (2010) complementa que parte do concreto que ficaria na zona de tração é eliminada, proporcionando redução de peso próprio da laje.

Para Adorna (et al., 2021), devido ao menor consumo de recursos e possibilidade de vãos mais amplos, lajes nervuradas podem ser consideradas um avanço em relação às lajes maciças.

Na Figura 02 pode-se observar como funcionam as lajes nervuradas.

Figura 02 – Laje nervurada



Fonte: Araújo (2010).

## 2.2 Parâmetros para o dimensionamento

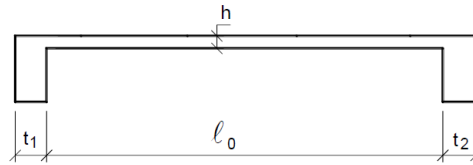
### 2.2.1 Vão efetivo

Vãos efetivos utilizados para o dimensionamento de lajes podem ser calculados de acordo com a equação (1), proposta pela NBR 6118:2014, desde que seus apoios possam ser considerados suficientemente rígidos quanto à translação vertical:

$$(1) \quad l_{ef} = l_0 + a_1 + a_2$$

Onde  $a_1$  é igual ao menor valor entre  $t_1/2$  e  $0,3h$ ,  $a_2$  ao menor valor entre  $t_2/2$  e  $0,3h$  e  $l_0$  ao vão entre vigas, conforme indicados na Figura 03.

Figura 03 – Dimensões consideradas no cálculo do vão efetivo das lajes



Fonte: Bastos (2021).

### 2.2.2 Direção das armaduras

Uma importante classificação de lajes é a que se refere à direção de suas armaduras. Existem dois casos: laje armada em uma direção e laje armada em duas direções (BASTOS, 2021).

Para Adorna (et al., 2021), lajes armadas em apenas uma direção, também denominadas como lajes unidirecionais, são aquelas cuja armadura está distribuída ao longo de apenas um dos vãos. Já no caso de lajes armada em duas direções, ou bidirecionais, as armaduras são distribuídas ao longo das duas direções, formando uma malha metálica.

Bastos (2021) conclui que, para definir a classificação da laje quanto à direção de suas armaduras deve-se verificar a relação geométrica do pano:

$$(2) \quad \lambda = \frac{l_y}{l_x} > 2 \rightarrow \text{Armada em uma direção}$$

$$(3) \quad \lambda = \frac{l_y}{l_x} \leq 2 \rightarrow \text{Armada em duas direções}$$

Nas quais  $l_y$  refere-se a maior dimensão da laje e  $l_x$  a menor.

### 2.2.3 Vinculação das bordas

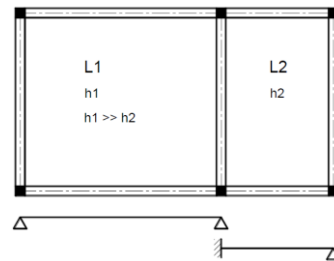
Por via de regra, são três os tipos de apoios das lajes: paredes, vigas e pilares. Destacam-se as vigas de borda, que são as mais comuns. A partir da definição destes apoios, é necessário estabelecer os vínculos que terão com a laje – sejam eles lineares, como as vigas de borda, ou pontuais, como pilares (BASTOS, 2021).

Considerando a complexidade do problema, faz-se simplificações, de modo a possibilitar o cálculo manual, admitindo três tipos de vínculos para as lajes: apoio simples, engaste perfeito e apoios pontuais. Através de programas computacionais é possível também admitir o engaste elástico (BASTOS, 2021).

Ainda segundo Bastos (2021), em lajes correntes das estruturas reais, raramente ocorre a idealização de apoio simples ou engaste perfeito, todavia, o erro cometido tende a ser pequeno. O mesmo autor ainda sugere que onde não ocorre ou não se admite continuidade da laje com outras lajes vizinhas, tem-se o apoio simples, usualmente ocorrendo em uma viga. Já nos casos em que há continuidade entre duas lajes vizinhas, ocorre o engastamento perfeito. Todavia, deve-se ainda avaliar a altura e largura das lajes para a conclusão adequada.

Quando duas lajes contínuas têm espessuras muito diferentes, pode-se considerar que a laje de menor espessura (L2) está engastada na laje de maior espessura (L1), mas, deve-se considerar que a laje de maior espessura não está engastada, conforme indicado na Figura 04.

Figura 04 – Lajes adjacentes com espessuras muito diferentes



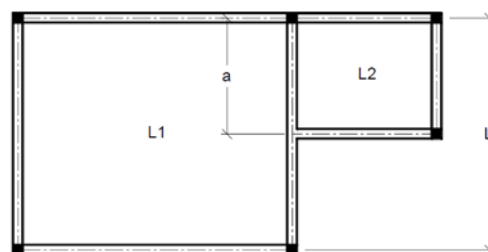
Fonte: Bastos (2021).

Já para o caso de continuidade ao longo da borda, pode-se considerar as equações (4) e (5). Nos dois casos, conforme indicado na Figura 05, a laje L2 tem borda engastada em L1.

$$(4) \quad a \geq \frac{2}{3}L \rightarrow L1 \text{ pode ser considerada engastada em L2}$$

$$(5) \quad a < \frac{2}{3}L \rightarrow L1 \text{ está simplesmente apoiada em L2}$$

Figura 05 – Lajes parcialmente contínuas



Fonte: Bastos (2021).

A partir destas definições, através das Tabelas de Bares - adaptadas por Pinheiro (1994), é possível classificar o tipo de laje, que serve de parâmetro para os coeficientes de cálculo.

#### 2.2.4 Estimativa de altura da laje maciça

Existem diferentes procedimentos para suposição da altura da laje, sendo um deles calculado a partir da altura útil (d) da laje, definida como “a distância entre o centro de gravidade da armadura tracionada e a face comprimida da seleção” (BASTOS, 2021).

De acordo com Bastos (2021), a altura d é estimada como:

$$(6) \quad d = (2,5 - 0,1n) l^*$$

Sendo  $d$  a altura útil da laje,  $n$  o número de bordas engastadas e  $l^*$  o menor valor entre  $l_x$  e  $0,7l_y$ , em metros.

Através da altura útil e supondo armadura em apenas uma camada, a altura  $h$  é dada por:

$$(7) \quad h = d + \frac{\phi_l}{2} + c$$

Considerando que nesta etapa ainda não se conhece o diâmetro da armadura  $\phi_l$ , Bastos (2021) sugere estimá-lo com 10 mm.

### 2.2.5 Cargas

Para Carvalho e Filho (2021), cargas atuantes em uma laje podem ser calculadas de maneira usual, considerando: peso próprio estrutural; carga accidental (que leva em consideração a finalidade do edifício e do cômodo, disponível na NBR 6120:2019); revestimento inferior (caso seja executado); peso de contrapiso; piso ou revestimento. Bastos (2021) inclui o peso de paredes em sua análise.

## 2.3 Diretrizes da ABNT NBR 6118:2014

### 2.3.1 Espessura mínima de lajes maciças

A NBR 6118:2014 restringe lajes maciças não em balanço com espessuras inferiores a 8 cm, com utilização definida como piso.

### 2.3.2 Espessura mínima de lajes nervuradas

De acordo com a NBR 6118:2014 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 ( $l_0$ ) e não deve ser menor que 4 cm. Em caso de tubulações, a norma deve ser verificada.

Referente às nervuras, elas não podem ser inferiores a 5 cm. Deve-se considerar também a restrição de nervuras com espessura menor que 8 cm, não podendo conter armadura de compressão (ABNT, 2014).

### 2.3.3 Cobrimento mínimo de armaduras

As medidas mínimas de cobertura das armaduras de lajes podem ser encontradas na tabela 7.2 da NBR 6118:2014, variando de acordo com as classes de agressividade ambiental. Os valores para lajes variam entre 20 e 45 mm.

### 2.3.4 Armadura mínima

Para melhorar o desempenho e a ductilidade à flexão, assim como controlar a fissuração, são necessários valores mínimos de armadura passiva a serem empregados nas lajes (ABNT, 2014).

Em caso de armaduras passivas aderentes negativas a NBR 6118:2014 propõe:

$$(8) \quad \rho_s \geq \rho_{min}$$

Para armaduras passivas aderentes positivas de lajes armadas em duas direções, a taxa mínima pode ser encontrada através de:

$$(9) \quad \rho_s \geq 0,67 \rho_{min}$$

Onde  $\rho_s = A_s / (b_w \cdot h)$  e  $\rho_{min} = A_{s,min} / A_c$  utilizando fator 0,15% para concreto de 25MPa e aço CA-50 ou CA-60. Em caso de características diferentes deve-se verificar a Tabela 17.3 da NBR 6118:2014.

### 2.3.5 Armadura máxima

A NBR 6118:2014 denota que a soma das armaduras de tração e de compressão não pode ter valor maior que 4%  $A_c$ , calculada na região fora da zona de emendas, devendo ser garantidas as condições de ductilidade.

### 2.3.6 Espaçamento máximo entre armaduras

De acordo com a NBR 6118:2014 as barras da armadura principal de flexão devem apresentar espaçamento no máximo igual a 2h ou 20 cm, prevalecendo o menor valor na região dos maiores momentos fletores.

### 2.3.7 Limites para deslocamentos

A NBR 6118:2014, determina os limites de deslocamentos para estruturas de concreto armado, destacando quatro grupos de verificações: aceitabilidade sensorial, efeitos específicos, efeitos em elementos não estruturais e efeitos em elementos estruturais.

## 2.4 Dimensionamento de laje maciça

### 2.4.1 Momentos fletores solicitantes

Existem diversas teorias para determinar os esforços solicitantes e deformações em lajes armadas em duas direções, Bastos (2021) cita como as mais importantes a Teoria das Placas, Processos aproximados, Métodos de Linhas de

Ruptura ou das Charneiras Plásticas, Métodos Numéricos, como: Elementos Finitos, de Contorno, etc.

A Teoria das Placas, que proporcionou a equação geral das placas, foi obtida por Lagrange em 1811, baseando-se na teoria matemática da elasticidade, que considera o material elástico linear, isotrópico e homogêneo. A equação pode ser descrita como (BASTOS, 2021):

$$(10) \quad \frac{\partial^4 w}{\partial x^4} + 2 \frac{\partial^4 w}{\partial x^2 \partial y^2} + \frac{\partial^4 w}{\partial y^4} = \frac{p}{D}$$

Dada a dificuldade que a solução da equação geral das placas impõe, surgiram diversas tabelas, de diferentes autores, com coeficientes que possibilitam o cálculo de momentos fletores e flechas para casos específicos de apoios e carregamentos (BASTOS, 2021).

Conforme as tabelas do autor Bares, adaptadas por Pinheiro (1994) os momentos fletores, negativos ou positivos, podem ser obtidos por:

$$(11) \quad M = \mu \frac{p \cdot l_x^2}{100}$$

Onde  $M$  refere-se ao momento fletor ( $kN \cdot m/m$ ),  $\mu$  trata-se do coeficiente determinado pelas tabelas, de acordo com cada tipo de laje;  $p$  é o valor da carga, uniforme, atuante na laje ( $kN/m^2$ ) e  $l_x$  o menor vão da laje.

#### 2.4.2 Compatibilização de momentos fletores negativos

De acordo com o item 14.7.6.2 da NBR 6118:2014 nos casos em que houver predominância de cargas permanentes, as lajes vizinhas podem ser consideradas isoladas, realizando-se a compatibilização dos momentos sobre os apoios de forma aproximada. No caso de análise plástica, a compatibilização pode ser realizada através da alteração das razões entre momentos de borda e vão, em procedimento iterativo, até a obtenção de valores equilibrados nas bordas. Permite-se, simplificada, a adoção do maior valor de momento negativo em vez de equilibrar os momentos de lajes diferentes sobre uma borda comum.

Bastos (2021) acrescenta um método consolidado na prática brasileira, onde o momento fletor negativo  $X$  de duas lajes adjacentes é deve ser igual ao momento médio no engaste entre as duas paredes, desde que o valor seja ao menos de 80% do maior momento.

#### 2.4.3 Cálculo de armaduras para momento fletor

Para Bastos (2021) o dimensionamento de uma laje, quantos aos esforços de flexão normal simples, pode ser feito de modo semelhante às vigas, supondo faixas ( $bw$ ) com largura de um metro:

$$(12) \quad K_c = \frac{b_w d^2}{M_d}$$

Determinado o valor de  $K_c$  é possível encontrar os coeficientes  $\beta_x$  e  $K_s$  e o domínio em que a laje se encontra sob dado carregamento através de tabelas denotadas por diversos autores, neste trabalho, foram utilizadas as fornecidas por Bastos (2021). Com  $\beta_x$  é determinada a posição  $x$  da linha neutra, de modo a verificar os valores limites, propostos pela NBR 6118:2014. Para proporcionar o adequado comportamento dúctil em vigas e lajes, a posição da linha neutra no ELU deve obedecer ao seguinte limite, para concretos de até 50 MPa:

$$(13) \quad \frac{x}{d} \leq 0,45$$

Em caso de redistribuição de momentos fletores é necessário consultar a NBR 6118. Se atendidos todos os valores limites, a armadura resistente à flexão pode ser encontrada através de:

$$(14) \quad A_s = K_s \frac{M_d}{d}$$

#### 2.4.4 Reações de apoio em lajes armadas em duas direções

A obtenção dos esforços de reações de apoio também está relacionada às tabelas de Bares, através do coeficiente  $v$  (BASTOS, 2021):

$$(15) \quad V = v \frac{p l_x}{10}$$

Onde  $V$  refere-se à reação de apoio ( $kN/m$ );  $v$  figura como m coeficiente dado pela Tabela de Bares;  $p$  ao valor da carga uniforme atuante na laje ( $kN/m^2$ ) e  $l_x$  ao menor vão da laje.

#### 2.4.5 Força cortante

Conforme Bastos (2021) raramente as lajes maciças de edifícios residenciais necessitam de armadura transversal para contribuir na resistência às forças cortantes. Como parâmetro de verificação, a NBR 6118:2014 propõe as seguintes expressões:

$$(16) \quad V_{sd} \leq V_{Rd1}$$

$$(17) \quad V_{Rd1} = [\tau_{Rd} k (1,2 + 40\rho_1) + 0,15\sigma_{cp}] b_w d$$

Caso a equação (16) seja atendida a laje não necessita de armadura transversal. Em casos sem a utilização de armadura de protensão ou força normal que cause compressão a equação (17) pode ser descrita como:

$$(18) \quad V_{Rd1} = [\tau_{Rd} k (1,2 + 40\rho_1)] b_w d$$

Com:

$$(19) \quad \tau_{Rd} = 0,25 f_{ctd}$$

$$(20) \quad \rho_1 = \frac{A_{s1}}{b_w d}, \text{ não maior que } 0,02$$

Os coeficientes k podem ser denotados como  $k = |1|$  para elementos onde 50% da armadura inferior não chega até o apoio e  $k = |1,6 - d|$  não menor que  $|1|$  para os demais casos;

## 2.5 Dimensionamento de lajes nervuradas

No item 14.7.7 da NBR 6118 (ABNT, 2014) todas as prescrições anteriores relativas às lajes podem ser consideradas válidas, desde que sejam obedecidas as condições de 13.2.4.2, e quando essas hipóteses não forem verificadas, deve-se analisar a laje nervurada considerando a capa como laje maciça apoiada em grelhas de vigas. Bastos (2021) conclui que, nos casos em que lajes nervuradas são analisadas através de métodos de lajes maciças, os limites mínimos de espessura tornam-se iguais às estabelecidas para as lajes maciças.

A NBR 6118:2014 complementa ainda trazendo as disposições construtivas mínimas. Nesse contexto, quando o espaçamento entre eixos de nervuras deve ser menor ou igual a 65 cm pode ser dispensada a verificação de flexão da mesa e para o cisalhamento da região das nervuras permite-se a consideração dos critérios de laje.

## 2.6 Verificações em estado limite de serviço

### 2.6.1 Momento fletor de fissuração

Para a NBR 6118:2014 o momento fletor de fissuração se trata da separação entre o estágio I e o estágio II. Bastos (2021) complementa que este corresponde ao surgimento da primeira fissura na laje.

O momento fletor aproximado pode ser calculado pela seguinte expressão, de acordo com a NBR 6118:2014:

$$(21) \quad M_r = \frac{\alpha f_{ct} I_c}{y_t}$$

Onde  $\alpha$  se trata do fator que correlaciona aproximadamente a resistência à tração na flexão com a resistência à tração direta, sendo:  $\alpha = 1,2$  para seções T ou T duplo;  $\alpha = 1,3$  para seções I ou T invertido;  $\alpha = 1,5$  para seções retangulares. Também,  $y_t$  refere-se à distância do centro de gravidade da seção à fibra mais

tracionada;  $I_c$  ao momento de inércia da seção bruta do concreto e  $f_{ct}$  à resistência à tração direta do concreto.

### 2.6.2 Momento fletor solicitante

O momento fletor de fissuração deve ser comparado com o momento fletor solicitante, considerando a combinação rara de serviço (BASTOS, 2021). Caracterizada pela NBR 6118:2014 a combinação é decorrente de esforços que ocorrem algumas vezes durante o período de vida útil da estrutura e sua consideração faz-se necessária para a verificação do estado-limite de deformação e formação de fissuras. Seu valor numérico pode ser denotado através da seguinte equação:

$$(22) \quad F_{d,ser} = \sum F_{gik} + F_{q1k} + \sum \psi_{1j} F_{qjk}$$

Em que  $F_{gk}$  figura como o esforço oriundo das ações permanentes características,  $\psi_1$  o fator de redução de combinação frequente para ELS,  $F_{q1k}$  a ação variável principal direta característica e  $F_{qjk}$  as demais ações variáveis características.

Se o momento fletor de fissuração for superior ao momento fletor solicitante, a seção está no estágio I, caso contrário, encontra-se no estágio II (BASTOS, 2021).

### 2.6.3 Flecha imediata

A flecha imediata refere-se do deslocamento que ocorre na aplicação do primeiro carregamento na peça, não levando em conta os efeitos da fluência (BASTOS, 2021). Em caso de laje armada em duas direções, pode ser calculada, de forma aproximada, através da expressão:

$$(23) \quad a_i = \frac{\alpha b}{1200} \frac{p l_x^4}{EI}$$

Onde  $\alpha$  refere-se ao coeficiente tabelado em função de  $\lambda$  ou  $\gamma$  b à largura unitária da laje; p ao valor do carregamento na laje (combinação quase permanente); e EI à rigidez da laje à flexão.

Para o cálculo da flecha imediata deve ser utilizada a combinação quase permanente de serviço, caracterizada pela NBR 6118:2014 como “podem atuar durante grande parte do período de vida da estrutura, e sua consideração pode ser necessária na verificação do estado-limite de deformações excessivas;”

O valor da ação de serviço na combinação quase permanente é dado pela equação:

$$(24) \quad F_{d,ser} = \sum F_{gik} + \sum \psi_{2j} F_{qjk}$$

Onde  $F_{gik}$  são as ações permanentes características;  $\psi_{2j}$  o fator de redução de combinação frequente para ELS (Tabela 11.2 da NBR 6118:2014); e  $F_{qjk}$  as ações variáveis características.

Para  $EI$  deve-se considerar:

$$(25) \quad M_a > M_r \quad \rightarrow \quad EI = (EI)_{eq}$$

$$(26) \quad M_a < M_r \quad \rightarrow \quad EI = E_{cs} I_c$$

$$(27) \quad (EI)_{eq} = \left\{ \left( \frac{M_r}{M_a} \right)^3 I_c + \left[ 1 - \left( \frac{M_r}{M_a} \right)^3 \right] I_{II} \right\} \leq E_{cs} I_c$$

Sendo  $I_c$  o momento de inércia da seção bruta de concreto ( $I_c = \frac{b h^3}{12}$ ),  $I_{II}$  o momento de inércia da seção fissurada de concreto no Estádio II, calculado com  $\alpha_e = \frac{E_s}{E_{cs}}$ ,  $M_r$  o momento de fissuração do elemento estrutural, cujo valor deve ser reduzido à metade, no caso de utilização de barras lisas,  $M_a$  o momento fletor na seção crítica do vão considerado, ou seja, momento máximo no vão para vigas biapoiadas ou contínuas e momento no apoio para balanços, para combinação de ações considerada nessa avaliação e  $E_{cs}$  o módulo de elasticidade secante do concreto.

#### 2.6.4 Flecha diferida no tempo

A flecha diferida no tempo é aquela causada lentamente, levando em conta o fato do carregamento atuar na estrutura ao longo do tempo. Segundo a NBR 6118:2014, para encontrar uma aproximação da flecha imediata em uma laje, pode-se utilizar as expressões a seguir:

$$(28) \quad \alpha_f = \frac{\Delta \xi}{1 + 50 \rho'}$$

$$(29) \quad \Delta \xi = \frac{\xi(t)}{\xi(t_0)}$$

$$(30) \quad \rho' = \frac{A'_s}{b d}$$

Onde  $\xi(t) = 2$  para  $t > 70$  meses;  $\xi(t)$  = idade, em meses, relativa à data de aplicação da carga de longa duração.  $A'_s$  refere-se à área de armadura comprimida;  $b$  à largura transversal; e  $d$  à altura útil.

Por fim, para encontrar a flecha total, a NBR 6118:2014 sugere a expressão:

$$(31) \quad a_t = a_i (1 + \alpha_f)$$

### 3 METODOLOGIA

#### 3.1 Classificação da pesquisa

De acordo com Ventura (2007) um estudo de caso visa a investigação de um caso específico, bem delimitado e contextualizado para que se possa realizar uma busca circunstanciada de informações. Deste modo, pode trazer dificuldades para generalização dos resultados obtidos, visto a possibilidade de que a unidade escolhida para investigação seja bastante atípica em relação a outros casos.

Por tanto, este trabalho trata-se de um estudo de caso, caracterizado também como exploratório e aplicado. Seu emprego se dá no dimensionamento e comparativo de lajes maciças e nervuradas em um modelo de sobrado, além de abranger pesquisas bibliográficas. Configura-se como método de pesquisa mista, definida por Sampieri (2013) como a integração dos métodos quantitativo e qualitativo em um único estudo.

#### 3.2 Desenvolvimento do trabalho

O dimensionamento das lajes foi realizado de forma sequencial, utilizando tabelas para visualização dos resultados. Esta metodologia visa facilitar a leitura e comparação de dados.

Para elaboração de cálculos e quantitativos foram utilizadas bibliografias apresentadas no capítulo 2, aplicadas no software Excel. Ademais, os orçamentos têm como base o Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil – SINAPI. A tabela utilizada é a do estado do Paraná, no mês de setembro de 2022, com custos não desonerados.

#### 3.3 Apresentação do estudo de caso

A edificação utilizada como objeto de estudo se trata de uma residência unifamiliar com dois pavimentos, contendo laje de piso e laje de cobertura e área total de 274,50 m<sup>2</sup>, conforme a Figura 06.

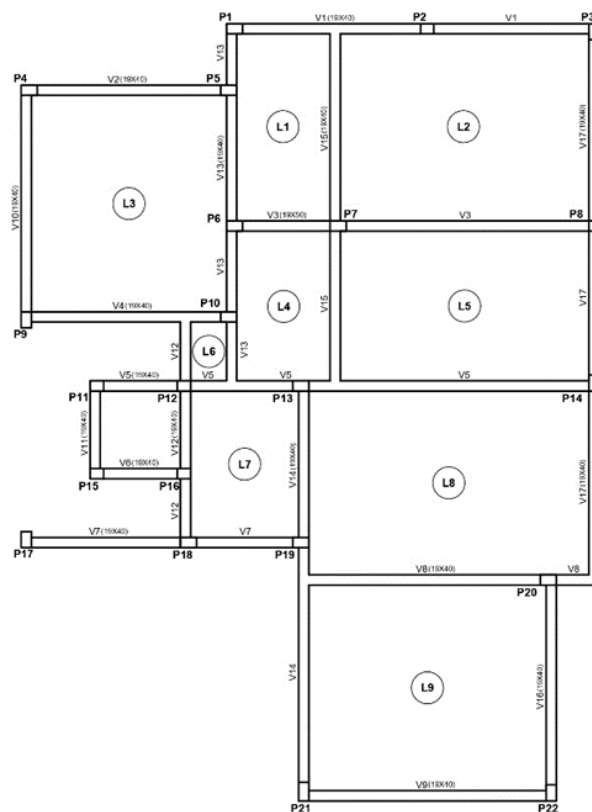
Figura 06 – Layout Arquitetônico do Pav. Térreo e Superior



Fonte: Os autores (2022).

A concepção estrutural da laje de piso, caracterizando os panos de lajes e posições de vigas e pilares, está apresentada na Figura 07.

Figura 07 – Concepção Estrutural Planta de Fôrmas



Fonte: Os autores (2022).

### 3.4 CARACTERÍSTICAS CONSTRUTIVAS

00As dimensões das lajes nervuradas já estão definidas em: espessura total de 14cm, sendo 10cm de EPS e 4cm de capa de concreto; EPS de 40cm x 40cm x 10cm; nervuras com largura de 8cm. Para a laje maciça deve-se considerar pré-dimensionamentos.

Faz-se necessário também definir algumas características referentes ao processo de construção das lajes: classe de agressividade ambiental II, concreto 25 MPa, aços CA-50 ou CA-60, 2,5 cm para cobrimento das armaduras, 3 cm de contrapiso, revestimento de 2 cm na face inferior da laje e 2,80 m para a altura das paredes. Não foi considerada a utilização de contra flechas nas lajes.

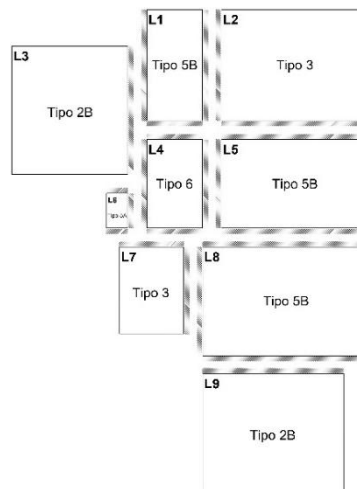
## 4 RESULTADOS

### 4.1 Dimensionamento das lajes

#### 4.1.1 Classificação das lajes

Na Figura 08 é possível verificar a classificação das lajes, de acordo com seus respectivos apoios engastados.

Figura 08 – Classificação das Lajes



Fonte: Os autores (2022).

#### 4.1.2 Definição da altura das lajes

Para definição da altura das lajes maciças é necessário verificar a direção de suas armaduras. Utilizando a equação (3) constatou-se que o coeficiente  $\lambda$  não ultrapassa 2 em nenhuma laje, por isso tratam-se de lajes armadas em duas direções.

Em consequência, através das equações (6) e (7) são encontradas as espessuras das lajes maciças, sendo padronizadas em 10 cm, visando facilitar a execução.

Para as lajes nervuradas são considerados 10 cm do EPS e 4 cm de capa de concreto, totalizando 14 cm de espessura.

#### 4.1.3 Determinação das ações atuantes nas lajes

A seguir, nas Tabelas 02 e 03, são definidas as ações atuantes nas lajes, considerando como carga permanente: concreto (peso próprio), paredes, revestimentos e EPS nas lajes nervuradas. Para carga acidental utilizou-se valores sugeridos pela NBR 6120:2019.

Foram obtidos resultados coincidentes para as lajes L1, L2, L3, L4, L6, L7 e L9, visto que estas não possuem cargas de paredes. Assim, são apresentados os dados da laje L1.

Tabela 01 – Ações atuantes nas lajes maciças

Laje	Concreto ( $kN/m^2$ )	Paredes ( $kN/m^2$ )	Revestimentos ( $kN/m^2$ )	Cargas Permanentes ( $kN/m^2$ )	Carga Acidental ( $kN/m^2$ )	Carga Total ( $kN/m^2$ )
L1	2,50	0	0,59	3,09	1,50	4,59
L5	2,50	0,75	0,59	3,84	1,50	5,34
L8	2,50	0,78	0,59	3,87	1,50	5,37

Fonte: Os autores (2022).

Tabela 02 – Ações atuantes nas lajes nervuradas

Laje	Concreto ( $kN/m^2$ )	EPS ( $kN/m^2$ )	Paredes ( $kN/m^2$ )	Revest. ( $kN/m^2$ )	Cargas Permanentes ( $kN/m^2$ )	Carga Acidental ( $kN/m^2$ )	Carga Total ( $kN/m^2$ )
L1	0,0176	0,0002	0	0,59	0,61	1,50	2,11
L5	0,0176	0,0002	0,75	0,59	1,36	1,50	2,86
L8	0,0176	0,0002	0,78	0,59	1,39	1,50	2,89

Fonte: Os autores (2022).

Considerando o valor médio das cargas atuantes nas lajes, temos  $4,76 \text{ kN/m}^2$  para as lajes maciças e apenas  $2,28 \text{ kN/m}^2$  para as lajes nervuradas. Por se tratar de fator que impacta diretamente em esforços de momento fletor e conseqüentemente nas armaduras, as lajes nervuradas obtiveram melhor desempenho, com peso 52% inferior.

#### 4.1.4 Momentos fletores atuantes nas lajes

As lajes são classificadas de acordo com as Tabelas de Bares – adaptadas por Pinheiro (1994). É através de seus coeficientes, inseridos na equação (5), que se determina os momentos fletores, conforme as Tabelas 03 e 04. Para maior exatidão utilizou-se interpolação.

Tabela 03 – Momentos fletores nas lajes maciças

Laje	$\lambda$	Tipo	$\mu_x$	$\mu'_x$	$\mu_y$	$\mu'_y$	$M_x$	$M'_x$	$M_y$	$M'_y$
L1	1,97	5B	4,11	8,46	0,90	5,61	0,62	1,27	0,14	0,84
L2	1,32	3	4,14	9,50	2,48	7,84	2,41	5,53	1,44	4,56
L3	1,11	2B	4,02	9,22	2,75	-	2,54	5,83	1,74	-
L4	1,58	6	3,66	7,75	1,39	5,72	0,55	1,17	0,21	0,86
L5	1,65	5B	3,91	8,20	1,18	5,62	1,71	3,58	0,52	2,46
L6	1,59	5A	4,51	9,86	2,35	8,01	0,11	0,24	0,06	0,20
L7	1,35	3	4,23	9,63	2,45	7,87	0,84	1,91	0,49	1,56
L8	1,51	5B	3,76	8,02	1,33	5,71	2,47	5,27	0,88	3,76
L9	1,15	2B	4,19	9,50	2,68	-	2,94	6,67	1,88	-

Fonte: Os autores (2022).

Em que os momentos resultantes estão em  $kN \cdot m/m$ .

Tabela 04 – Momentos fletores nas lajes nervuradas

Laje	$\lambda$	Tipo	$\mu_x$	$\mu'_x$	$\mu_y$	$\mu'_y$	$M_x^{(1)}$	$M'_x^{(1)}$	$M_y^{(1)}$	$M'_y^{(1)}$
L1	1,97	5B	4,11	8,46	0,90	5,61	0,14	0,28	0,03	0,19
L2	1,32	3	4,14	9,50	2,48	7,84	0,53	1,22	0,32	1,01
L3	1,11	2B	4,02	9,22	2,75	-	0,56	1,29	0,38	-
L4	1,58	6	3,66	7,75	1,39	5,72	0,12	0,26	0,05	0,19
L5	1,65	5B	3,91	8,20	1,18	5,62	0,44	0,92	0,13	0,63
L6	1,59	5a	4,51	9,86	2,35	8,01	0,02	0,05	0,01	0,04
L7	1,35	3	4,23	9,63	2,45	7,87	0,19	0,42	0,11	0,35
L8	1,51	5B	3,76	8,02	1,33	5,71	0,64	1,36	0,23	0,97
L9	1,15	2B	4,19	9,50	2,68	-	0,65	1,47	0,41	-

Fonte: Os autores (2022).

Em que os momentos resultas estão em  $kN \cdot m/nervura$ . Analisando o momento fletor médio atuante nas lajes, chega-se a 1,98  $kN.m/m$  em lajes maciças e 0,96  $kN.m/m$  em lajes nervuradas. Este desempenho, 52% mais favorável para as lajes nervuradas, já era esperado, visto a diferença de cargas em cada laje.

#### 4.1.5 Cálculo de armaduras positivas

O cálculo de armaduras positivas foi realizado através das equações (9), (12) e (13). Para a direção x das lajes maciças tem-se valores superiores ao mínimo nos panos: L2 = 1,21  $cm^2/m$ , L3 = 1,27  $cm^2/m$ , L8 = 1,24  $cm^2/m$  e L9 = 1,47  $cm^2/m$ . Já nas lajes L1, L4, L5, L6 e L7 encontrou-se a armadura mínima de 1,01  $cm^2/mm$ . Para a direção y, todas as lajes maciças possuem valores inferiores à taxa mínima de armaduras de 1,01  $cm^2/m$ , sendo este o valor final.

Através do dimensionamento das lajes nervuradas se obteve a taxa de armadura mínima para os panos, nas direções x e y, sendo 0,27  $cm^2/nervura$ , nenhum deles ultrapassou este valor.

#### 4.1.6 Cálculo de armaduras negativas

O cálculo de armaduras negativas foi realizado através das equações (9), (12) e (13). Para a direção x das lajes maciças tem-se valores superiores ao mínimo nos

panos: L2 = 2,76 cm<sup>2</sup>/nervura, L3 = 2,91 cm<sup>2</sup>/nervura, L5 = 1,79 cm<sup>2</sup>/nervura, L8 = 2,64 cm<sup>2</sup>/nervura e L9 = 3,33 cm<sup>2</sup>/m. Já nas lajes L1, L4, L6 e L7 encontrou-se a armadura mínima de 1,50 cm<sup>2</sup>/nervura. Para a direção y, apenas as lajes L2 = 2,28 cm<sup>2</sup>/m e L8 = 1,88 cm<sup>2</sup>/m apresentam valores superiores à taxa mínima de 1,50 cm<sup>2</sup>/m.

Através do dimensionamento das lajes nervuradas se obteve a taxa de armadura mínima para os panos, nas direções x e y, sendo 0,85 cm<sup>2</sup>/m. Apenas a laje L9 ultrapassou este valor na direção x, com 0,90 cm<sup>2</sup>/m.

#### 4.1.7 Reações de apoio/esforço cortante

As reações de apoio das lajes são encontradas através de coeficientes da Tabelas de Bares – adaptadas por Pinheiro (1994), aplicados à equação (15). Para maior exatidão utilizou-se interpolação. Os valores estão descritos nas Tabelas 05 e 06.

Tabela 05 – Reações de apoio nas lajes maciças

Laje	Tipo	$v_x$	$v'_x$	$v_y$	$v'_y$	$V_x$ (kN/m)	$V'_x$ (kN/m)	$V_y$ (kN/m)	$V'_y$ (kN/m)
L1	5B	-	4,00	1,71	2,50	-	0,60	0,26	0,38
L2	3	2,68	3,94	2,17	3,17	1,56	2,29	1,26	1,85
L3	2B	2,90	4,24	1,83	-	1,83	2,68	1,16	-
L4	6	-	3,42	-	2,50	-	0,51	-	0,38
L5	5B	-	3,81	1,71	2,50	-	1,66	0,75	1,09
L6	5A	2,60	3,81	-	3,17	0,06	0,09	-	0,08
L7	3	2,72	3,98	2,17	3,17	0,54	0,79	0,43	0,63
L8	5B	-	3,71	1,71	2,50	-	2,44	1,12	1,64
L9	2B	2,95	4,33	1,83	-	2,07	3,04	1,28	-

Fonte: Os autores (2022).

Tabela 05 – Reações de apoio nas lajes nervuradas

Laje	Tipo	$v_x$	$v'_x$	$v_y$	$v'_y$	$V_x$ (kN/m)	$V'_x$ (kN/m)	$V_y$ (kN/m)	$V'_y$ (kN/m)
L1	5B	-	4,00	1,71	2,50	-	0,28	0,12	0,17
L2	3	2,68	3,94	2,17	3,17	0,72	1,05	0,58	0,85
L3	2B	2,90	4,24	1,83	-	0,84	1,23	0,53	-
L4	6	-	3,42	-	2,50	-	0,24	-	0,17
L5	5B	-	3,81	1,71	2,50	-	0,89	0,40	0,58
L6	5A	2,60	3,81	-	3,17	0,03	0,04	-	0,04
L7	3	2,72	3,98	2,17	3,17	0,25	0,36	0,20	0,29
L8	5B	-	3,71	1,71	2,50	-	1,31	0,60	0,88
L9	2B	2,95	4,33	1,83	-	0,95	1,40	0,59	-

Fonte: Os autores (2022).

Tal como o momento fletor, as reações de apoio são diretamente influenciadas pelas cargas nas lajes, obtendo melhor desempenho nas lajes nervuradas.

#### 4.1.8 Verificação do cisalhamento

A verificação de cisalhamento nas lajes está descrita na Tabela 07, onde foi utilizada a equação (18).

Tabela 07 – Verificações de cisalhamento

Laje	Laje Maciça					Laje Nervurada				
	$\tau_{Rd}$	$k$	$\rho_1$	$V_{Rd1}$	$V_{Sd}$	$\tau_{Rd}$	$k$	$\rho_1$	$V_{Rd1}$	$V_{Sd}$
L1	0,03	1,53	0,0015	43,23	0,84	0,03	1,49	0,0022	5,42	0,39
L2	0,03	1,53	0,0015	43,23	3,21	0,03	1,49	0,0022	5,42	1,48
L3	0,03	1,53	0,0015	43,23	3,76	0,03	1,49	0,0022	5,42	1,73
L4	0,03	1,53	0,0015	43,23	0,72	0,03	1,49	0,0022	5,42	0,33
L5	0,03	1,53	0,0015	43,23	2,33	0,03	1,49	0,0022	5,42	1,25
L6	0,03	1,53	0,0015	43,23	0,13	0,03	1,49	0,0022	5,42	0,06
L7	0,03	1,53	0,0015	43,23	1,11	0,03	1,49	0,0022	5,42	0,51
L8	0,03	1,53	0,0015	43,23	3,42	0,03	1,49	0,0022	5,42	1,84
L9	0,03	1,53	0,0015	43,23	4,25	0,03	1,49	0,0022	5,42	1,95

Fonte: Os autores (2022).

Em que  $\tau_{Rd}$  está em  $kN/cm^2$  e  $V_{Rd1}$  e  $V_{Sd}$  em  $kN/m$ . Nesse contexto, não há necessidade de armaduras especiais para este esforço, visto que  $V_{Sd} \leq V_{Rd1}$ .

#### 4.2 Verificações no estado limite de serviço

Parte-se para a verificação do estado limite de serviço das lajes, através da constatação do estádio em que a laje se encontra. Dessa forma, observou-se que todos os planos possuem  $M_r < M_a$ , incluindo-os no estádio I.

Através desta verificação é possível determinar as flechas geradas nas lajes, como mostra nas Tabelas 08 e 09.

Para as lajes maciças  $EI=20125000$  MPa e para as lajes nervuradas  $EI=18565313$  MPa.

Tabela 08 – Determinação de flechas nas lajes maciças

Laje	A	$\psi_2$	$p$ ( $kN/cm^2$ )	$l_x$ (cm)	$E_{cs}$ (MPa)	$a_i$ (cm)	$\alpha_f$ (cm)	$\alpha_t$ (cm)
L1	2,95	0,3	0,0004	181	24150	0,005	1,32	0,01
L2	3,89	0,3	0,0004	356	24150	0,092	1,32	0,21
L3	3,73	0,3	0,0004	371	24150	0,104	1,32	0,24
L4	2,66	0,3	0,0004	181	24150	0,004	1,32	0,01
L5	2,83	0,3	0,0004	286	24150	0,034	1,32	0,08
L6	4,26	0,3	0,0004	73	24150	0,000	1,32	0,00
L7	3,98	0,3	0,0004	208	24150	0,011	1,32	0,03
L8	2,74	0,3	0,0004	350	24150	0,074	1,32	0,17
L9	3,89	0,3	0,0004	390	24150	0,134	1,32	0,31

Fonte: Os autores (2022).

Tabela 09 – Determinação de flechas nas lajes nervuradas

Laje	$\alpha$	$\psi_2$	$p$ ( $kN/cm^2$ )	$l_x$ ( $cm$ )	$E_{cs}$ ( $MPa$ )	$a_i$ ( $cm$ )	$\alpha_f$ ( $cm$ )	$\alpha_t$ ( $cm$ )
L1	2,95	0,3	0,0001	181	24150	0,002	1,32	0,00
L2	3,89	0,3	0,0001	356	24150	0,030	1,32	0,07
L3	3,73	0,3	0,0001	371	24150	0,034	1,32	0,08
L4	2,66	0,3	0,0001	181	24150	0,001	1,32	0,00
L5	2,83	0,3	0,0002	286	24150	0,015	1,32	0,04
L6	4,26	0,3	0,0001	73	24150	0,000	1,32	0,00
L7	3,98	0,3	0,0001	208	24150	0,004	1,32	0,01
L8	2,74	0,3	0,0002	350	24150	0,034	1,32	0,08
L9	3,89	0,3	0,0001	390	24150	0,043	1,32	0,10

Fonte: Os autores (2022).

E, finalmente, compara-se as flechas resultantes com as admitidas na Tabela 10. Observa-se que todas estão dentro dos limites sugeridos pela NBR 6118.

Tabela 10 – Verificação das flechas

Laje	Aceitabilidade sensorial $l/250$ ( $cm$ )	Efeitos em paredes $l/500$ ( $cm$ )	$\alpha_t$ , maciça ( $cm$ )	$\alpha_t$ , nervurada ( $cm$ )
L1	0,72	0,36	0,01	0,00
L2	1,42	0,71	0,21	0,07
L3	1,48	0,74	0,24	0,08
L4	0,72	0,36	0,01	0,00
L5	1,14	0,57	0,08	0,04
L6	0,29	0,15	0,00	0,00
L7	0,83	0,42	0,03	0,01
L8	1,40	0,70	0,17	0,08
L9	1,56	0,78	0,31	0,10

Fonte: Os autores (2022).

#### 4.3 QUANTITATIVOS E ORÇAMENTOS

Os quantitativos de materiais foram elaborados com base nos resultados de armadura e volume das lajes maciças e nervuradas cujos resultados principais encontram-se dispostos na Tabela 11.

Tabela 11 – Quantitativo de materiais

Laje Maciça			Laje Nervurada		
Descrição	Unidade	Quantidade	Descrição	Unidade	Quantidade
Fôrmas de lajes	m <sup>2</sup>	106,15	Fôrmas de lajes	m <sup>2</sup>	106,15
Aço $\phi$ 5,0mm	kg	178,38	Aço $\phi$ 5,0mm	kg	51,32
Aço $\phi$ 6,3mm	kg	34,39	Aço $\phi$ 6,3mm	kg	119,79
Aço $\phi$ 8,0mm	kg	88,64	EPS	pç	409
Concreto	m <sup>3</sup>	10,61	Concreto	m <sup>3</sup>	7,49

Fonte: Os autores (2022).

Conforme os dados apresentados, as fôrmas possuem o mesmo quantitativo para os dois modelos, visto que possuem a mesma concepção estrutural e pequenas diferenças nas dimensões, enquadradas dentro do arredondamento de corte das formas.

No que se refere aos quantitativos de armaduras, destaca-se a eficiência da laje nervurada, totalizando 171,11 kg, enquanto a laje maciça obtém 301,41 kg. Uma diferença 43,23% inferior de aço nas lajes nervuradas. Esta disparidade se deve à diferença de peso das duas lajes e devido à distância máxima de 20 cm entre armaduras nas lajes maciças.

Quanto ao volume de concreto, a laje nervurada apresenta melhor desempenho, com 7,49 m<sup>3</sup>, enquanto para laje maciça 10,61 m<sup>3</sup>. Entretanto, ao quantitativo da laje nervurada são adicionados os blocos de EPS.

A seguir tem-se os orçamentos para os dois modelos de lajes, utilizando como base de custos a Tabela SINAPI/PR de setembro de 2022, sem desoneração (CAIXA, 2022).

Tabela 12 – Orçamento das lajes maciças

Cód.	Descrição	Un.	Custo	Quant.	Custo total
92514	Montagem e desmontagem de fôrma de laje maciça, pé direito simples, em chapa de madeira compensada resinada, 4 utilizações. AF 09/2020	m <sup>2</sup>	R\$ 53,43	106,15	R\$ 5.671,59
92768	Armação de laje de estrutura convencional de concreto armado, utilizando aço CA-60 de 5,0 mm - montagem. AF_06/2022	kg	R\$ 14,96	178,38	R\$ 2.668,57
92769	Armação de laje de estrutura convencional de concreto armado, utilizando aço CA-50 de 6,3 mm - montagem. AF_06/2022	kg	R\$ 14,06	34,39	R\$ 483,52
92770	Armação de laje de estrutura convencional de concreto armado, utilizando aço CA-60 de 8,0 mm - montagem. AF_06/2022	kg	R\$ 13,17	88,64	R\$ 1.167,39
103675	Concretagem de vigas e lajes, fck=25 MPa, para lajes maciças ou nervuradas com uso de bomba - lançamento, adensamento e acabamento. AF_02/2022	m <sup>3</sup>	R\$ 534,70	10,61	R\$ 5.673,17
<b>Total</b>					<b>R\$ 15.664,24</b>

Fonte: Os autores (2022).

Tabela 13 – Orçamento das lajes nervuradas

Código	Descrição	Un.	Custo	Quant.	Custo total
92514	Montagem e desmontagem de fôrma de laje maciça, pé direito simples, em chapa de madeira compensada resinada, 4 utilizações. AF 09/2020	m <sup>2</sup>	R\$ 53,43	106,15	R\$ 5.671,59
92768	Armação de laje de estrutura convencional de concreto armado, utilizando aço CA-60 de 5,0 mm - montagem. AF_06/2022	kg	R\$ 14,96	51,32	R\$ 767,75
92769	Armação de laje de estrutura convencional de concreto armado, utilizando aço CA-50 de 6,3 mm - montagem. AF_06/2022	kg	R\$ 14,06	119,79	R\$ 1.684,25
Orçamento externo	Bloco primário EPS laminado tipo 3F 40x40x10	un	R\$ 4,31	409	R\$ 1.762,79
103675	Concretagem de vigas e lajes, fck=25 MPa, para lajes maciças ou nervuradas com uso de bomba - lançamento, adensamento e acabamento. AF_02/2022	m <sup>3</sup>	R\$ 534,70	7,49	R\$ 4.004,90
<b>Total</b>					<b>R\$ 13.891,28</b>

Fonte: Os autores (2022).

De acordo com as Tabelas 12 e 13, a laje maciça alcançou um custo final de R\$ 15.664,24 enquanto a laje nervurada totalizou R\$ 13.891,28. Logo, pode-se concluir que a última atingiu melhor desempenho do ponto de vista financeiro, proporcionando uma economia de 11,32%.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Após o dimensionamento dos dois modelos de lajes pôde-se constatar que as lajes nervuradas obtiveram melhor desempenho em grande parte das verificações.

Nesse contexto, a laje nervurada apresentou, em relação à laje maciça, quantitativos cerca de 30% inferiores de concreto e 40% inferiores em aço. Estes dados são justificados principalmente pela substituição do concreto pelo EPS (isopor) na área tracionada da laje nervurada (parte inferior), subtraindo 52% de peso próprio.

Nesse aspecto, é importante destacar que a diminuição do concreto reduziu R\$ 1.668,27 do orçamento das lajes nervuradas; em contrapartida, a inserção do isopor acrescentou um custo de R\$ 1.762,79. Ainda assim, haja vista a diminuição de cargas, a laje nervurada proporcionou maior rendimento econômico.

Vale a pena destacar também as reduções nos valores das reações de apoio apresentadas pelas lajes nervuradas. Os valores variaram entre 44,4% e 53,7%, quando comparadas as reações de apoio obtidas nas lajes nervuradas com as resultantes das lajes maciças.

Não obstante, deve-se ponderar que, em geral, lajes nervuradas possuem espessuras superiores a outros modelos de lajes, podendo trazer impactos ao projeto arquitetônico e até inviabilizar o método. Entretanto, não se trata de um fator decisivo para esta edificação em análise, visto que a diferença de altura entre as lajes investigadas foi de apenas 4 cm, sendo 14 cm a espessura para a laje nervurada e 10 cm para a maciça.

Em conclusão, à luz dos critérios de viabilidade e economia, a escolha final para esta edificação é a laje nervurada, com custos 11,32% inferiores.

## Sizing and cost comparison of solid and ribbed bidirectional slabs

### ABSTRACT

There are several possibilities of slab models for a work, but which one is the most viable and economical? It is not possible to generalize this question, each structural conception demands a specific analysis. In this work, two types of bidirectional slabs were dimensioned, solid and ribbed, with the objective of finding the most economical and viable slab for a residential building used as a case study. The calculation was carried out based on ABNT methodologies and criteria along with great authors in the area, exposed in the bibliographic references. For the composition of costs, the SINAPI table of Paraná was used. In this context, the ribbed slab presented reductions in reinforcement rates and resulting loads of 43% and 52%, respectively, providing savings of 11% when the cost of construction of the slabs was evaluated. Furthermore, the reductions in the values of the support reactions presented by the ribbed slabs varied between 44,4% and 53,7%, when comparing the support reactions with those resulting from the solid slabs. On the other hand, the solid slab had a thickness 4 cm lower, which could also be a criterion of choice for other works.

**KEYWORDS:** Solid slab, ribbed slab, bidirectional slab.

## REFERÊNCIAS

ADORNA, Diego da L.; PARIZOTTO, Liana; LAZZARI, Bruna M.; et al. **Concreto Armado: Vigas e Lajes**. Porto Alegre: SAGAH, 2021.

ARAÚJO; José Amilton de. **Curso de Concreto Armado**. v. 2, 3. Ed. Rio Grande: Dunas, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118: Projeto de Estruturas de Concreto – Procedimentos**. 3 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2014.

\_\_\_\_\_. **NBR 6120: Ações para o Cálculo de Estruturas de Edificações**. 2 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2019.

BASTOS, Prof. Dr. Paulo Sérgio dos Santos. **Lajes de Concreto Armado**. Curso de Engenharia Civil, Universidade Estadual Paulista – UNESP, Bauru, 2021.

CARVALHO, Roberto Chust; FILHO, Jasson Rodrigues de Figueiredo. **Concreto Armado: Segundo a NBR 6118:2014**. 4. Ed. São Paulo: edUFSCar, 2021.

CARVALHO, Roberto Chust; PINHEIRO, Libânio Miranda. **Cálculo e Detalhamento de Estruturas de Concreto Armado**. v. 2 São Paulo: Pini, 2009.

NETO, Egydio P. **Caderno de Receitas de Concreto Armado**. V. 3. Rio de Janeiro: Grupo GEN, 2017.

PINHEIRO, Libanio Miranda. **Concreto armado: tabelas e ábacos**. São Carlos, Escola de Engenharia de São Carlos – USP, Departamento de Engenharia de Estruturas, 1994.

SAMPIERI, Roberto H.; COLLADO, Carlos F.; LUCIO, María del P. B.. **Metodologia de pesquisa**. 5. Ed. Porto Alegre: Penso, 2013.

VENTURA, Maria Magda. **O Estudo de Caso como Modalidade de Pesquisa**. 20(5): 383-386 setembro/outubro. Rio de Janeiro: Ver. SOCERJ, 2007.

ZANELLA, Liane Carly Hermes. **Metodologia da pesquisa**. Florianópolis: SEaD/UFSC, 2006.

**Recebido:** 2023-04-16

**Aprovado:** 2025/08/23.

**DOI:** 103895/recit.V16n4016684

**Como citar:** Dimensionamento e comparativo de custos de lajes bidirecionais do tipo maciça e nervurada. R. Eletr. Cient. Inov. Tecnol, Medianeira, v. 16, n.40, p 13 –40, mai/ago, 2025. Disponível em: <<https://periodicos.utfpr.edu.br/recit>>. Acesso em: XXX.

**Correspondência:**

GROSMANN, W  
Centro Universitário Ugv, União da Vitória, Paraná.  
Brasil

**Direito autoral:** Este artigo está licenciado sob os termos da Licença [creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0) Internacional.

