

NOTA TÉCNICA

LAJES MACIÇAS, TRELIÇADAS E NERVURADAS: ANÁLISE COMPARATIVA

Massive, Treated and Ribbed Slabs: Comparative Analysis

Tiago Rodrigues Coelho de Moura ¹



PALAVRAS CHAVE:

Laje;
Maciça;
Nervurada;
Trelaçada;
Comparação.

KEYWORDS:

Slab;
Massive;
Ribbed;
Trellised;
Comparison.

RESUMO: Na construção civil, cada projeto possui suas peculiaridades, com isso, é importante conhecer as variáveis dos elementos estruturais a fim de reduzir custos, aumentar a segurança e viabilizar a obra. Nas edificações de concreto armado, as lajes mais usadas são as do tipo trelaçada, maciça e nervurada. Este artigo apresenta um estudo comparativo entre esses três tipos de lajes. Os fatores analisados foram o peso, quantidade de aço e quantidade de concreto em função do tipo de laje e das dimensões mais próximas das usadas em obras residenciais. As normas principais para esses elementos estruturais são a NBR 6118 (ABNT, 2014), a NBR 6120 (ABNT, 1980) e a NBR 14859-1 (ABNT, 2002), respectivamente, para concreto armado, sobrecargas nas edificações e lajes pré-fabricadas. Para obter as dimensões geométricas, foram feitos pré-dimensionamentos usando os procedimentos das bibliografias referenciadas. A análise estrutural foi feita de forma analítica com auxílio do Microsoft Excel[®]. As verificações necessárias foram realizadas conforme a NBR 6118 (ABNT, 2014). Ao final, foram comparados os resultados de peso, quantitativo de aço e volume de concreto. De modo geral, ficou notório que a laje trelaçada tem maior vantagem que as demais.

ABSTRACT: In civil construction, each project has its peculiarities, so it is important to know the variables of the structural elements in order to reduce costs, increase safety and make the work feasible. In reinforced concrete constructions, the most used slabs are those of the truss type, massive and ribbed. This article presents a comparative study between these three types of slabs. The factors analyzed were the weight, amount of steel and quantity of concrete according to the type of slab and the dimensions closest to those used in residential works. The main norms for these structural elements are NBR 6118 (ABNT, 2014), NBR 6120 (ABNT, 1980) and NBR 14859-1 (ABNT, 2002), respectively, for reinforced concrete, overloads in buildings and pre-manufactured. To obtain the geometric dimensions, pre-sizing was done using the procedures of the referenced bibliographies. The structural analysis was done analytically with the aid of Microsoft Excel[®]. The necessary checks were performed according to NBR 6118 (ABNT, 2014). At the end, the results of weight, quantity of steel and volume of concrete were compared. In general, it has become apparent that the latticed slab has a greater advantage than the others.

* Contato com o autor:

Publicado em 26 de junho de 2023

¹ e-mail: tiago.trcm@gmail.com (T. R. C. Moura)

Mestre em Estruturas e Construção Civil pela Universidade de Brasília (UnB), Pós-graduado em MBA em Gestão de Obras na Construção Civil pela Faculdade Cidade Verde (FCV), Engenheiro Civil pelo Centro Universitário Euro-Americano (UNIEURO) e técnico em Comunicações Aeronáuticas pela Escola de Especialista de Aeronáutica (EEAR).

1. INTRODUÇÃO

A análise comparativa entre os métodos construtivos de um projeto é de muita importância, pois, assim, permite-se conhecer suas vantagens e desvantagens. Nos projetos estruturais, de modo geral, os primeiros elementos a serem projetados são as lajes. Este artigo tem por objetivo apresentar três variáveis de três tipos de lajes comuns nas obras correntes: o peso da laje, a quantidade de aço e o volume de concreto. Para essa análise, foram considerados quatro tamanhos diferentes de lajes como parâmetros de dimensionamento e comparação dos resultados.

Para o correto dimensionamento das lajes, foram aplicados os métodos que constam nas literaturas consagradas e nas normas da Associação Brasileira de Normas Técnica (ABNT). Para obtenção dos esforços, de forma analítica, foi usado o Microsoft Excel®. Os resultados foram apresentados em gráficos, assim, pode-se verificar, de forma visual, as diferenças das variáveis entre cada tipo de laje.

2. METODOLOGIA

2.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS DAS LAJES

Em um projeto é comum haver vários tipos de formas geométricas nas lajes e nas suas respectivas vinculações. Neste estudo, foram consideradas quatro tamanhos de lajes aplicadas igualmente a todos os métodos - maciça, nervurada e treliçada. As dimensões utilizadas foram 3,0 m x 3,0 m, 3,0 m x 4,0 m, 3,0 m x 5,0 m e 3,0 m x 6,0 m, respectivamente nomeadas como L1, L2, L3 e L4. Essas dimensões são próximas das mais usadas nas obras residenciais, por isso, foi um dos parâmetros adotado neste estudo.

Na Figura 1 estão apresentados os diversos tipos de vinculação de lajes em relação aos tipos de apoio. Nos projetos comuns, há diversos tipos de vinculação, no entanto, as lajes treliçadas são normalmente bi-apoiadas. Em razão disso, a fim de uniformizar os parâmetros para melhor comparação das variáveis de interesse (peso, quantidade de aço e volume de concreto), adotou-se apenas a vinculação do tipo 1 para todos os modelos analisados.

Caso	Vinculação	Caso	Vinculação	Caso	Vinculação
1		2A		2B	
	Quatro bordas simplesmente apoiadas		Uma borda menor engastada		Uma borda maior engastada
3		4A		4B	
	Duas bordas adjacentes engastadas		Duas bordas menores engastadas		Duas bordas maiores engastadas
5A		5B		6	
	Uma borda maior apoiada		Uma borda menor apoiada		Quatro bordas engastadas

FIGURA 1: Casos de vinculação.

FONTE: Pinheiro (2007).

2.2 CONSIDERAÇÕES DE PROJETO

2.2.1 Classe de agressividade ambiental

A classe de agressividade ambiental (CAA) é definida em função dos parâmetros do local da obra. Conforme a NBR 6118 (ABNT, 2014), é atribuído a CAA para cada projeto. A maior parte das edificações é alocada nas cidades, com isso, a classe adotada para esse estudo foi a CAA-II.

2.2.2 Resistência característica do concreto

Para a CAA-II adotada, a norma supracitada estabelece que o concreto pertença, no mínimo, a classe de concreto C25, onde a resistência característica à compressão (f_{ck}) é de 25 MPa.

2.2.3 Cobrimento mínimo do aço

De modo semelhante à classe de concreto, estabelece-se o cobrimento mínimo para a armadura. Conforme a tabela 7.1 da NBR 6118 (ABNT, 2014), o cobrimento mínimo do aço é de 25 mm para as lajes de concreto armado.

2.2.4 Sobrecarga permanente e acidental

A fim de uniformizar os cálculos e obter uma maior coerência nos resultados, foi adotada uma sobrecarga permanente conforme apresentado na Tabela 1. Nessa tabela, a letra “e” representa a espessura do elemento sobre a laje e letra grega γ é o peso específico do material.

TABELA 1: Cálculo da sobrecarga permanente.							
Material do contrapiso (cp)	e_{cp} [cm]	γ_{cp} [kN/m ³]	Tipo do revestimento (rv)	e_{rv} [cm]	γ_{rv} [kN/m ³]	Forro [kN/m ²]	Peso total [kN/m ²]
Cimento e areia	2,5	22,0	Porcelanato	1,2	19,0	0,50	1,28

FONTE: Autoria própria.

Para a sobrecarga acidental, adotou-se um valor de 2,0 kN/m² que, conforme a NBR 2120 (ABNT, 1980), é a sobrecarga de uma laje de cozinha, por exemplo.

2.3 TEORIA BÁSICA DE CÁLCULO

2.3.1 Concreto

Todas as lajes são em concreto armado que é a junção de concreto simples – agregado graúdo (brita), agregado miúdo (areia), cimento e água – e a armadura de aço. A NBR 6118 (ABNT, 2014) estabelece que, na falta de ensaio, a resistência à tração média do concreto pode ser calculada em função do f_{ck} , conforme a Equação 1, para f_{ck} de até 50 MPa.

$$f_{ct,m} = 0,3f_{ck}^{2/3} \quad \text{Eq. [1]}$$

Em que:

$f_{ct,m}$ = resistência à tração média do concreto (MPa);

f_{ck} = resistência característica do concreto (MPa).

As resistências, em MPa, à tração superior e inferior do concreto são determinadas, respectivamente, conforme as Equações 2 e 3.

$$f_{ctk,sup} = 1,3f_{ct,m} \quad \text{Eq. [2]}$$

$$f_{ctk,inf} = 0,7f_{ct,m} \quad \text{Eq. [3]}$$

Em que:

$f_{ctk,sup}$ = resistência à tração superior do concreto (MPa);

$f_{ctk,inf}$ = resistência à tração inferior do concreto (MPa).

O momento fletor mínimo é estabelecido em função da geometria do elemento e da resistência característica do concreto. A Equação 4 está disposta no item 17.3.5.2.1 da NBR 6118 (ABNT, 2014).

$$M_{d,min} = 0,8W_0f_{ctk,sup} \quad \text{Eq. [4]}$$

Em que:

$M_{d,min}$ = momento fletor mínimo (kN.cm);
 $f_{ctk,sup}$ = resistência à tração superior do concreto (kN/cm²);
 W_o = módulo de resistência à flexão (cm³).

A linha neutra refere-se ao plano de separação das regiões comprimida e tracionada de um componente submetido à flexão. A posição “x” da linha neutra é feita em função da geometria da seção transversal do elemento e varia em relação à parte sob compressão. Essa posição deve ser verificada conforme o item 14.6.4.3 na NBR 6118 (ABNT, 2014), onde $x/d \leq 0,45$ para f_{ck} até 50 MPa, em que “d” é a altura útil do elemento estrutural submetido à flexão.

Além da flecha imediata nas lajes, é necessário calcular a flecha devido ao efeito da fluência do concreto. Para isso, é calculado o fator de flecha adicional (α_f). O item 17.3.2.1.2 da norma supracitada estabelece o procedimento de cálculo, conforme apresentado na Equação 5.

$$\alpha_f = \frac{\Delta\xi}{1+50\cdot\rho'} \quad \text{Eq. [5]}$$

Em que:

$$\rho' = \frac{A'_s}{b_w \cdot d}$$

A'_s = área de aço negativa (cm²);

$\xi(t) = 0,68 \cdot (0,996)^t \cdot t^{0,32}$ coeficiente função do tempo em meses;

b_w = largura da alma (cm);

d = altura útil (cm).

A resistência de cálculo do concreto é calculada pela Equação 6, conforme a NBR 6118 (ABNT, 2014) no seu item 12.3.1.

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} \quad \text{Eq. [6]}$$

Em que:

f_{cd} = resistência de cálculo do concreto (MPa);

f_{ck} = resistência característica do concreto (MPa);

γ_c = coeficiente de ponderação da resistência do concreto.

Para o cálculo do peso próprio de um elemento estrutural, primeiro, faz-se necessário conhecer sua massa específica (ρ). A NBR 6118 (ABNT, 2014) indica um valor igual a 2500 kg/m³ para o concreto armado.

Para o dimensionamento e verificações é necessário conhecer algumas constantes físicas do concreto. A NBR 6118 (ABNT, 2014), no item 8.2.8, indica o processo de cálculo para obter o módulo de elasticidade inicial do concreto (E_{ci}) em Mpa (Equação 7).

$$E_{ci} = \alpha_E 5600 \sqrt{f_{ck}} \quad \text{para } f_{ck} \text{ de 20 a 50 MPa} \quad \text{Eq. [7]}$$

Em que:

$\alpha_E = 1,2$ para basalto e diabásio;

$\alpha_E = 1,0$ para granito e gnaisse;

$\alpha_E = 0,9$ para calcário; e,

$\alpha_E = 0,7$ para arenito.

O módulo de deformação secante, de acordo com a norma supracitada, é obtido com a Equação 8.

$$E_{cs} = \alpha_i E_{ci} \quad \text{Eq. [8]}$$

Em que:

E_{cs} = módulo de elasticidade secante do concreto (MPa);

E_{ci} = módulo de elasticidade inicial do concreto (MPa);

$\alpha_i = 0,8 + 0,2 \cdot \frac{f_{ck}}{80} \leq 1,0$

f_{ck} = resistência característica do concreto (MPa).

Nas estruturas de concreto armado, a NBR 6118 (ABNT, 2014) estabelece que o esforço cortante deva ser verificado conforme o modelo de cálculo apresentado pela Equação 9.

$$V_{sd} \leq V_{Rd2}$$

$$V_{Rd2} = 0,27\alpha_{v2}f_{cd}b_wd \quad \text{Eq. [9]}$$

Em que:

V_{sd} = esforço cortante solicitante de cálculo (kN);

V_{Rd2} = esforço cortante resistente do concreto (kN);

$$\alpha_{v2} = \left(1 - \frac{f_{ck}}{250}\right)$$

f_{ck} = resistência característica do concreto (MPa);

f_{cd} = resistência característica do concreto (kN/cm²);

b_w = largura da alma (cm);

d = altura útil da seção transversal do elemento de concreto armado (cm).

2.3.2 Aço

O aço usado nessas lajes foi da classe CA-50 que possui resistência característica ao escoamento igual a 50 kN/cm². A resistência de cálculo do aço é feita conforme Equação 10, a qual consta na NBR 6118 (ABNT, 2014). Conforme essa mesma norma, o módulo de elasticidade (E_s) do aço é de 210 GPa.

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} \quad \text{Eq. [10]}$$

Em que:

f_{yd} = resistência de cálculo do aço (kN/cm²);

f_{yk} = resistência característica de escoamento do aço (kN/cm²);

γ_s = coeficiente de ponderação da resistência do aço.

2.3.3 Combinações de cargas

Todas as estruturas são submetidas aos esforços decorrentes de cargas permanentes ou acidentais. A NBR 6120 (ABNT, 1980) define as cargas permanentes e acidentais mínimas para um projeto. A carga aplicada em uma estrutura é a combinação das cargas acidentais e permanentes. A NBR 6118 (ABNT, 2014), no item 11, dispõe de métodos para realizar as combinações nos estados limites último (ELU) e de serviço (ELS). As Equações 11 e 12 são as combinações, respectivamente, dos ELU e ELS.

$$F_{d,ELU} = \gamma_g F_{gk} + \gamma_{\varepsilon g} F_{\varepsilon gk} + \gamma_q (F_{q1k} + \sum \Psi_{0j} F_{qjk}) + \gamma_{\varepsilon q} \Psi_{0\varepsilon} F_{\varepsilon qk} \quad \text{Eq. [11]}$$

$$F_{d,ELS} = \sum F_{gi,k} + \sum \Psi_{2j} F_{qj,k} \quad \text{Eq. [12]}$$

Em que:

F_d = combinação das cargas (kN/m²);

F_g = cargas permanentes (kN/m²);

F_q = cargas acidentais (kN/m²);

γ_g = coeficiente de combinações das cargas permanentes;

γ_q = coeficiente de combinações das cargas acidentais;

Ψ_0 = fatores de combinação de carga;

Ψ_2 = fatores de redução de carga.

2.3.4 Laje maciça

No modelo de cálculo, considera-se uma seção de um metro de laje, conforme apresentado por Botelho e Marchetti (2015). Para determinação da direção da armadura e dos coeficientes da tabela de Czerny, é necessário obter a razão entre a maior e a menor dimensão horizontal da laje (Equação 13). Se essa razão for maior que dois, a laje é armada na direção do menor vão, caso contrário, será armada nas duas direções.

$$\lambda = \frac{L_y}{L_x} \quad \text{Eq. [13]}$$

Em que:

λ = razão entre a maior e a menor dimensão horizontal da laje;

L_x = menor vão da laje (m);

L_y = maior vão da laje (m).

A determinação dos momentos fletores máximos nas lajes maciças são obtidos com as Equações 14 e 15. Os coeficientes α e β são obtidos nas tabelas de Czerny, conforme Franz (1976), e são, respectivamente, para momento fletor positivo e negativo.

$$M_{d,i}(+) = \frac{F_{d,ELU} L_x^2}{\alpha_i} \quad M_{d,i}(-) = \frac{F_{d,ELU} L_x^2}{\beta_i} \quad \text{Eq. [14 e 15]}$$

Em que:

$M_{d,i}$ = momento fletor máximo solicitante da direção x ou y (kN.m);

F_d = combinação das cargas sobre a laje no ELU (kN/m²);

L_x = menor vão da laje (m);

α_i = coeficiente de Czerny para momento fletor positivo da direção x ou y;

β_i = coeficiente de Czerny para momento fletor negativo da direção x ou y.

Para concretos com f_{ck} de 20 MPa a 50 MPa, a posição linha neutra em relação à face comprimida para seções retangulares pode ser calculada pela Equação 16, conforme Araújo (2010). A dimensão b_w é igual a 100 cm, ou seja, a largura da faixa de laje considerada para cálculo.

$$x = 1,25d \left(1 - \sqrt{1 - \frac{M_d}{0,425 \cdot b_w \cdot d^2 \cdot f_{cd}}} \right) \quad \text{Eq. [16]}$$

Em que:

x = posição da linha neutra em relação à face superior da laje (cm);

d = altura útil da laje (cm);

M_d = momento fletor solicitante (kN.cm);

f_{cd} = resistência de cálculo do concreto (kN/cm²).

Para obtenção da área de aço, usa-se a Equação 17 conforme Araújo (2010), também para concretos com f_{ck} de 20 MPa a 50 MPa. Deve ser observado que a NBR 6118 (ABNT, 2014) estabelece uma taxa mínima de aço de 0,15% da área de concreto da seção transversal do elemento submetido à flexão.

$$A_s = \frac{M_d}{(d-0,4x)f_{cd}} \quad \text{Eq. [17]}$$

Em que:

A_s = área de aço para resistir o momento fletor (cm²);

d = altura útil da laje (cm);

M_d = momento fletor solicitante (kN.cm);

x = posição da linha neutra (cm);

f_{cd} = resistência de cálculo do concreto (kN/cm²).

Conforme exposto por Franz (1976), a flecha imediata máxima é estimada com a aplicação da Equação 18. Posteriormente, adiciona-se a ela a flecha devido à fluência.

$$f_m = \frac{F_{d,ELS} L_x^4}{E_{cs} h^3} \alpha_2 \quad \text{Eq. [18]}$$

Em que:

f_m = flecha imediata máxima (cm);

F_d = combinação das cargas sobre a laje no ELS (kN/m²);

L_x = menor vão da laje (cm);

E_{cs} = módulo de elasticidade secante do concreto (kN/m²);

h = espessura da laje (cm);

α_2 = coeficiente de Czerny para flecha imediata.

A flecha total máxima é a adição da flecha imediata com a de fluência e é obtida pela Equação 19. Devem ser observados os valores de flechas limites conforme a tabela 13.3 da NBR 6118 (ABNT, 2014).

$$f_{m,tot} = (1 + \alpha_f)f_m \quad \text{Eq. [19]}$$

Em que:

- $f_{m,tot}$ = flecha total máxima (cm);
- f_m = flecha imediata máxima (cm);
- α_f = coeficiente de flecha adicional.

Após todo o dimensionamento e verificações, faz-se necessário a transferência de carga para os apoios. Essa transferência de carga é feita conforme a Equação 20. Os coeficientes de transferência (r) podem ser obtidos na literatura de Porto e Fernandes (2015).

$$R = rFa \quad \text{Eq. [20]}$$

Em que:

- R = reação no apoio da laje (kN/m);
- F = carga sobre a laje (kN/m²);
- r = coeficiente de transferência de carga;
- a = é o vão com maior número engaste, caso seja igual nas duas dimensões, refere-se ao menor.

2.3.5 Laje nervurada

A seção transversal considerada para laje nervurada é do tipo viga T conforme Figura 2.

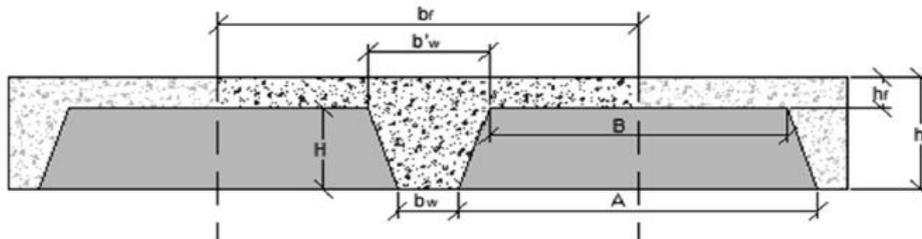


FIGURA 2: Seção transversal laje nervurada.

FONTE: Autoria própria.

O pré-dimensionamento é feito conforme as prescrições da NBR 6118 (ABNT, 2014) e em função das dimensões da cubeta utilizada, conforme as seguintes recomendações:

$$h_{f,min} \geq \begin{cases} A/15 \\ 4\text{cm (sem tubos na mesa)} \\ 5\text{cm (com tubos na mesa de diâmetro } \Phi \leq 10\text{mm)} \\ 4\text{cm} + \Phi \text{ (com tubos de } \Phi > 10\text{mm)} \\ 4\text{cm} + 2\Phi \text{ (com tubos de } \Phi > 10\text{mm em cruzamento)} \end{cases} \quad b_w \geq \begin{cases} 5\text{cm} \\ 8\text{cm} * \end{cases}$$

* Quando há armadura de compressão

Para determinação da direção da armadura, dos coeficientes da tabela de Czerny, dos momentos fletores, da taxa de armadura da nervura, da flecha de fluência e da transferência de cargas para os apoios podem ser utilizados os mesmos métodos das lajes maciças.

A linha neutra (LN) de uma viga qualquer deve ser obtida com o equilíbrio do momento fletor na seção transversal, conforme Carvalho e Filho (2007). No caso de viga T – seção considerada para cálculo – a posição da LN pode ser obtida com as Equações 21 e 22, referente ao concreto do Grupo I (C20-C50).

Para linha neutra na mesa:

$$M_d = (0,68xd - 0,272x^2)b_f f_{cd} \quad \text{Eq. [21]}$$

Para linha neutra na alma:

$$M_d = \left[b_f h_{f,min} \left(d - \frac{h_{f,min}}{2} \right) + b_w (0,8x - h_{f,min}) \left(d - 0,4x - \frac{h_{f,min}}{2} \right) \right] 0,85 f_{cd} \quad \text{Eq. [22]}$$

Em que:

- M_d = momento fletor solicitante (kN.cm);
- x = posição da linha neutra (cm);
- d = altura útil (cm);
- $b_{f,min}$ = largura mínima da mesa (cm);
- f_{cd} = resistência de cálculo do concreto (kN/cm²);
- h_f = espessura da mesa (cm);
- b_w = largura da alma (cm).

A flecha imediata máxima de lajes nervuradas pode ser estimada com a aplicação da Equação 23, conforme Carvalho e Filho (2007).

$$f_m = \frac{5F_d ELS L_x^4}{384 E_{cs} I_{II}} \quad \text{Eq. [23]}$$

Em que:

- f_m = flecha imediata máxima (cm);
- F_d = combinação das cargas sobre a laje no ELS (kN/m²);
- L_x = menor vão da laje (cm);
- E_{cs} = módulo de elasticidade secante do concreto (kN/m²);
- I_{II} = momento de inércia da seção transversal no estágio II (cm⁴).

O momento de inércia da seção transversal no estágio II para uma seção T pode ser calculado pelas Equações 24 e 25, ambas deduzidas do teorema dos eixos paralelos.

$$I_{II, LN \text{ na mesa}} = \frac{b_f x^3}{3} + \alpha_E A_s (d - x)^2 \quad \text{Eq. [24]}$$

$$I_{II, LN \text{ na alma}} = \frac{b_f h_{f,min}^3}{12} + b_f h_{f,min} \left(x - \frac{h_{f,min}}{2} \right)^2 + \frac{b_w (x - h_{f,min})^3}{3} + \alpha_E A_s (d - x)^2 \quad \text{Eq. [25]}$$

Em que:

- I_{II} = momento de inércia da seção transversal no estágio II (cm⁴);
- x = posição da linha neutra (cm);
- d = altura útil (cm);
- b_f = largura da mesa (cm);
- $h_{f,min}$ = espessura mínima da mesa (cm);
- b_w = largura da alma (cm);
- A_s = área de aço positiva (cm²);
- $\alpha_E = \frac{E_s}{E_{cs}}$

O esforço cortante solicitante de cálculo (V_{sd}) é estimado pelo produto da maior carga transferida para os apoios da laje pela largura da mesa (b_f) considerada. Posteriormente verificada conforme NBR 6118 (ABNT, 2014).

2.3.6 Laje treliçada

A seção transversal considerada para laje treliçada é também do tipo viga T conforme Figuras 3 e 4, porém, no dimensionamento, na grande maioria das obras, é armada em apenas uma direção.

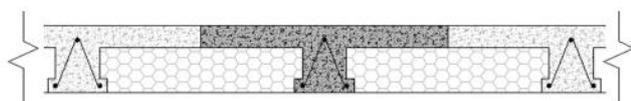


FIGURA 3: Seção transversal laje treliçada.

FONTE: Autoria própria.

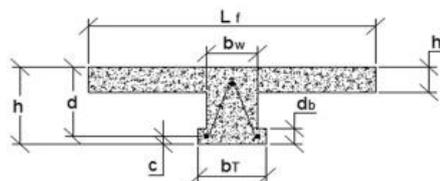


FIGURA 4: Seção transversal da viga T considerada.

FONTE: Autoria própria

O pré-dimensionamento é feito de forma semelhante à laje nervurada, porém, a maior parte das dimensões é obtida em função da vigota pré-moldada e do bloco de enchimento utilizado.

Para determinação da direção, da taxa de armadura, da nervura, da posição da linha neutra e da flecha imediata deve-se usar os mesmos procedimentos já expostos para as lajes nervuradas. Para a taxa de armadura na mesa, a NBR 14859-1 (ABNT, 2002) estabelece um valor mínimo de 0,9 cm²/m para aço CA-25 e 0,6 cm²/m para aço CA-50 ou CA-60.

O esforço cortante solicitante para esse tipo de laje pode ser considerado igual às reações nos apoios das vigotas pré-moldadas. Para cálculo do momento fletor máximo (M_d), pode-se adotar um modelo de viga bi-apoiada, conforme Araújo (2010) – Equação 26.

$$M_d = \frac{F_{d,ELU}L^2}{8} \quad \text{Eq. [26]}$$

Em que:

M_d = momento fletor máximo (kN.m);

F_d = combinação das cargas sobre a laje no ELU (kN/m²);

L = vão na direção analisada (m).

2.4 DIMENSIONAMENTO

Todos os cálculos de dimensionamentos e verificações foram feitos analiticamente com auxílio do Microsoft Excel®. As Tabelas 2, 3 e 4 ilustram, de forma ordenada, os cálculos realizados neste estudo.

2.4.1 Laje maciça

TABELA 2: Dimensionamento de lajes maciças.

Tabela 2 – Dimensionamento de laje maciça em concreto armado																	Parte 01 de 06					
Laje	L_x [m]	L_y [m]	f_{ck} [MPa]	c [mm]	Vinc.	Tipo de laje e/ou uso	h_{min} [cm]	h_{max} [cm]	h_{adot} [cm]	d [cm]	V [m ³]	ρ_{CA} [kg/m ³]	γ_n	SC_1 [kN]	SC_2 [kN/m ²]	PP [kN/m ²]	g [kN/m ²]	q [kN/m ²]	V_8	V_4	F_1 ELU [kN/m ²]	F_2 ELS [kN/m ²]
L1	3,00	3,00	25,0	25	1	Piso não em balanço	8,0	10,0	8,0	5,5	0,72	2500	1,00	0,00	1,28	1,962	3,242	2,000	1,4	1,4	7,339	5,242
L2	3,00	4,00	25,0	25	1	Piso não em balanço	8,0	10,0	8,0	5,5	0,96	2500	1,00	0,00	1,28	1,962	3,242	2,000	1,4	1,4	7,339	5,242
L3	3,00	5,00	25,0	25	1	Piso não em balanço	8,0	10,0	8,0	5,5	1,20	2500	1,00	0,00	1,28	1,962	3,242	2,000	1,4	1,4	7,339	5,242
L4	3,00	6,00	25,0	25	1	Piso não em balanço	8,0	10,0	8,0	5,5	1,44	2500	1,00	0,00	1,28	1,962	3,242	2,000	1,4	1,4	7,339	5,242

L_x : menor vão efetivo da laje. L_y : maior vão efetivo da laje.
 f_{ck} : resistência característica a compressão do concreto.
 Vinc.: tipo de vinculação da laje.
 h : espessura da laje (min: espessura mínima de acordo com a ABNT NBR 6118:2014. máx: espessura máxima. adot: espessura adotada para cálculo.)
 d : altura (espessura) útil da laje.
 V : volume de concreto da laje.
 ρ_{CA} : peso específico do concreto armado.
 γ_n : coeficiente adicional de majoração de carga para lajes em balanço, tabela 13.2 da ABNT NBR 6118:2014.
 SC_1 : sobrecarga pontual sobre a laje (ex. paredes, balcões, etc). SC_2 : sobrecarga distribuída sobre a laje (ex. contra-piso, revestimento, etc).
 PP: peso próprio da laje.
 g : somatório das cargas permanentes. q : somatório das cargas acidentais.
 F_1 : combinação das cargas para o estado limite último (ELU), conforme 11.3 da ABNT NBR 6118:2014.
 F_2 : combinação rara das cargas para o estado limite de serviço (ELS), conforme 11.4 da ABNT NBR 6118:2014.

Tabela 2 – Dimensionamento de laje maciça em concreto armado **Parte 02 de 06**

λ	Direção aço	Coeficientes de Czerny					$M_x (+)$ [kN.cm]	$M_y (+)$ [kN.cm]	$M_x (-)$ [kN.cm]	$M_y (-)$ [kN.cm]	W_0 [cm ³]	$f_{ct,m}$ [MPa]	$f_{ctk,sup}$ [MPa]	$M_{d,min}$ [kN.cm]	$M_{sd,x} (+)$ [kN.cm]	$M_{sd,y} (+)$ [kN.cm]	$M_{sd,x} (-)$ [kN.cm]	$M_{sd,y} (-)$ [kN.cm]
		α_x	α_y	β_x	β_y	α_2												
1,00	x e y	22,70	22,70	0,00	0,00	21,00	291,0	291,0	0,0	0,0	1066,7	2,565	3,334	284,5	291,0	291,0	0,0	0,0
1,33	x e y	14,72	22,78	0,00	0,00	13,18	448,7	289,9	0,0	0,0	1066,7	2,565	3,334	284,5	448,7	289,9	0,0	0,0
1,67	x e y	11,38	23,50	0,00	0,00	9,98	580,4	281,1	0,0	0,0	1066,7	2,565	3,334	284,5	580,4	284,5	0,0	0,0
2,00	x e y	9,90	23,50	0,00	0,00	8,60	667,2	281,1	0,0	0,0	1066,7	2,565	3,334	284,5	667,2	284,5	0,0	0,0

λ : razão entre L_y e L_x .
 $\alpha_{(x\ ou\ y)}$: coeficiente das tabelas de Czerny para cálculo do momento fletor positivo máximo na laje.
 β : coeficiente das tabelas de Czerny para cálculo do momento fletor negativo máximo na laje.
 α_2 : coeficiente das tabelas de Czerny para cálculo da flecha máxima.
 M_x : momento fletor máximo na direção x da laje. M_y : momento fletor máximo na direção y da laje.
 (+): positivo. (-): negativo.
 $f_{ct,m}$: resistência média à tração do concreto, conforme item 8.2.5 da ABNT NBR 6118:2014.
 $f_{ctk,sup}$: resistência superior à tração do concreto, conforme item 8.2.5 da ABNT NBR 6118:2014.
 $M_{d,min}$: momento mínimo a ser considerado nos cálculos, conforme item 17.3.5.2.1 da ABNT NBR 6118:2014.
 M_{sd} : momento solicitante de cálculo.

Tabela 2 – Dimensionamento de laje maciça em concreto armado **Parte 03 de 06**

$M'_{sd,x} (+)$ [kN.cm]	$M'_{sd,y} (+)$ [kN.cm]	$M'_{sd,x1} (-)$ [kN.cm]	$M'_{sd,x2} (-)$ [kN.cm]	$M'_{sd,y1} (-)$ [kN.cm]	$M'_{sd,y2} (-)$ [kN.cm]	γ_c	f_{cd} [kN/cm ²]	Posição da linha neutra						Verificação da linha neutra (x/d)					
								$X_x (+)$ [cm]	$X_y (+)$ [cm]	$X_{x1} (-)$ [cm]	$X_{x2} (-)$ [cm]	$X_{y1} (-)$ [cm]	$X_{y2} (-)$ [cm]	$X_x (+)$	$X_y (+)$	$X_{x1} (-)$	$X_{x2} (-)$	$X_{y1} (-)$	$X_{y2} (-)$
291,0	291,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,4	1,786	0,450	0,450	0,000	0,000	0,000	0,000	Passa!	Passa!	-	-	-	-
448,7	289,9	0,0	0,0	0,0	0,0	1,4	1,786	0,708	0,449	0,000	0,000	0,000	0,000	Passa!	Passa!	-	-	-	-
580,4	284,5	0,0	0,0	0,0	0,0	1,4	1,786	0,932	0,440	0,000	0,000	0,000	0,000	Passa!	Passa!	-	-	-	-
667,2	284,5	0,0	0,0	0,0	0,0	1,4	1,786	1,085	0,440	0,000	0,000	0,000	0,000	Passa!	Passa!	-	-	-	-

M'_{sd} : momento negativo compatibilizado.
 γ_c : coeficiente de ponderação da resistência do concreto, conforme tabela 12.1 da ABNT NBR 6118:2014.
 f_{cd} : resistência de cálculo do concreto ao 28 dias, conforme item 12.3.3 da ABNT NBR 6118:2014.
 X : posição da linha neutra em relação à face superior da laje.
 1: lado escolhido da laje.
 2: lado oposto ao lado 1 da laje.

Tabela 2 – Dimensionamento de laje maciça em concreto armado **Parte 04 de 06**

α_E	E_{ci} [MPa]	α_i	E_{cs} [MPa]	t_i [meses]	t_f [meses]	$\Delta\xi$	α_f	W_{max} [mm]	$W_{fluência}$ [mm]	W_{total} [mm]	Parâmetros para W_{lim}	W_{limite} [mm]	Contra-flecha [mm]	Verif. Flecha	Tipo de aço	$\phi_{aço}$ [mm]	γ_s	f_{yk} [kN/cm ²]	f_{yd} [kN/cm ²]
1,2	33600,0	0,863	28980,0	1	70	1,323	1,323	1,363	1,803	3,166	Visual	12,000	0,0	Passa!	CA-50	6,3	1,15	50	43,48
1,2	33600,0	0,863	28980,0	1	70	1,323	1,323	2,171	2,873	5,044	Visual	12,000	0,0	Passa!	CA-50	6,3	1,15	50	43,48
1,2	33600,0	0,863	28980,0	1	70	1,323	1,323	2,867	3,794	6,661	Visual	12,000	0,0	Passa!	CA-50	6,3	1,15	50	43,48
1,2	33600,0	0,863	28980,0	1	70	1,323	1,323	3,327	4,402	7,730	Visual	12,000	0,0	Passa!	CA-50	6,3	1,15	50	43,48

α_E : coeficiente função do tipo de mineral que compõe o agregado do concreto, conforme item 8.2.8 da ABNT NBR 6118:2014.
 E_{ci} : módulo de elasticidade inicial do concreto, conforme item 8.2.8 da ABNT NBR 6118:2014.
 α_i : coeficiente de relação entre o módulo de elasticidade inicial e secante, conforme item 8.2.8 da ABNT NBR 6118:2014.
 E_{cs} : módulo de elasticidade secante do concreto, conforme item 8.2.8 da ABNT NBR 6118:2014.
 t_i : tempo inicial, em meses, da adção da carga.
 t_f : tempo final, em meses, para verificação da flecha de fluência.
 $\Delta\xi$: variação do coeficiente função do tempo para flecha de fluência, conforme item 17.3.2.1.2 da ABNT NBR 6118:2014.
 α_f : fator de flecha adicional, conforme item 17.3.2.1.2 da ABNT NBR 6118:2014.
 1: lado escolhido da laje.
 2: lado oposto ao lado 1 da laje.
 W_{max} : flecha máxima imediata.
 $W_{fluência}$: flecha aproximada devido ao efeito de fluência do concreto ao longo do tempo, conforme o item 17.3.2.1.2 da ABNT NBR 6118:2014.
 ϕ : diâmetro.
 γ_s : coeficiente de ponderação da resistência do aço, conforme tabela 12.1 da ABNT NBR 6118:2014.
 f_{yk} : resistência característica do aço.
 f_{yd} : resistência de cálculo do aço, conforme item 12.3.1 da ABNT NBR 6118:2014.
 (+): posição da armadura positiva.
 (-): posição da armadura negativa.

Tabela 2 – Dimensionamento de laje maciça em concreto armado **Parte 05 de 06**

A _{min} [cm ² /m]	Área de aço por metro [cm ² /m]						Qtd de barras nessessária por metro:						Espaçamento do aço [cm]						Quantidade de barras totais:					
	(+)	(+)	(-)	(-)	(-)	(-)	(+)	(+)	(-)	(-)	(-)	(-)	(+)	(+)	(-)	(-)	(-)	(-)	(+)	(+)	(-)	(-)	(-)	(-)
	em x	em y	em x1	em x2	em y1	em y2	em x	em y	em x1	em x2	em y1	em y2	em x	em y	em x1	em x2	em y1	em y2	em x	em y	em x1	em x2	em y1	em y2
1,20	1,26	1,26	0,00	0,00	0,00	0,00	5	5	0	0	0	0	16,0	16,0	-	-	-	-	19	19	0	0	0	0
1,20	1,98	1,25	0,00	0,00	0,00	0,00	7	5	0	0	0	0	14,0	16,0	-	-	-	-	29	19	0	0	0	0
1,20	2,60	1,23	0,00	0,00	0,00	0,00	9	4	0	0	0	0	11,0	16,0	-	-	-	-	46	19	0	0	0	0
1,20	3,03	1,23	0,00	0,00	0,00	0,00	10	4	0	0	0	0	10,0	16,0	-	-	-	-	60	19	0	0	0	0

A_{min}: área mínima de aço, conforme o item 17.3.5.2.1 da ABNT NBR 6118:2014.
 (+): posição da armadura positiva.
 (-): posição da armadura negativa.

Tabela 2 – Dimensionamento de laje maciça em concreto armado **Parte 06 de 06**

L _g [cm]	Comprimento total da barra [cm]						Massa linear aço [kg/m]	Massa total [kg]	σ [m]	b/a	Coef. de transferência de carga				Reação linear [kN/m] (ELU):				Reação linear [kN/m] (ELS):			
	(+)	(+)	(-)	(-)	(-)	(-)					r' _x	r'' _x	r' _y	r'' _y	borda x apoio	borda x engaste	borda y apoio	borda y engaste	borda x apoio	borda x engaste	borda y apoio	borda y engaste
	em x	em y	em x1	em x2	em y1	em y2					[apoiada]	[engastada]	[apoiada]	[engastada]								
6,0	320,0	320,0	0	0	0	0	0,248	30,157	3,00	1,00	0,250	0,000	0,250	0,000	5,504	-	5,504	-	3,932	-	3,932	-
6,0	320,0	420,0	0	0	0	0	0,248	42,805	4,00	1,33	0,250	0,000	0,315	0,000	7,339	-	9,247	-	5,242	-	6,605	-
6,0	320,0	520,0	0	0	0	0	0,248	61,008	5,00	1,67	0,250	0,000	0,353	0,000	9,174	-	12,953	-	6,553	-	9,252	-
6,0	320,0	620,0	0	0	0	0	0,248	76,830	6,00	2,00	0,250	0,000	0,375	0,000	11,008	-	16,512	-	7,863	-	11,795	-

L_g: comprimento do gancho de ancoragem.
 a: vão com maior número de engaste. Caso o número de engaste seja igual nas duas direções, "a" refere-se ao menor vão.
 (+): posição da armadura positiva.
 (-): posição da armadura negativa.

FONTE: Autoria própria.

2.4.2 Laje nervurada

TABELA 3: Dimensionamento de lajes nervuradas.

Tabela 3 – Dimensionamento de laje nervurada em concreto armado **Parte 01 de 09**

Laje	L _x [m]	L _y [m]	f _{ck} [MPa]	c [mm]	Tipo de vinc.	λ	Direç. do aço	h _{pré} [cm]	Características da cubeta					h _{f,min} [cm]	h _{f,adot} [cm]	h [cm]	arm. comp. Alma	d [cm]	b _{w,min} [cm]	b _{w,máx} [cm]	Direção X			Direção Y			V [m ³ /m ²]
									H [cm]	A _x [cm]	A _y [cm]	B _x [cm]	B _y [cm]								b _{w,x} [cm]	b' _{w,x} [cm]	b _{f,x} [cm]	b _{w,y} [cm]	b' _{w,y} [cm]	b _{f,y} [cm]	
L1	3,00	3,00	25,0	25	1	1,00	X	12	15,0	60,0	60,0	57,0	57,0	4,0	5,0	20,0	Não	17,5	5,0	5,0	5,0	8,0	65,0	5,0	8,0	65,0	0,079
L2	3,00	4,00	25,0	25	1	1,33	X	16	15,0	60,0	60,0	57,0	57,0	4,0	5,0	20,0	Não	17,5	5,0	5,0	5,0	8,0	65,0	5,0	8,0	65,0	0,079
L3	3,00	5,00	25,0	25	1	1,67	X	20	15,0	60,0	60,0	57,0	57,0	4,0	5,0	20,0	Não	17,5	5,0	5,0	5,0	8,0	65,0	5,0	8,0	65,0	0,079
L4	3,00	6,00	25,0	25	1	2,00	X	24	15,0	60,0	60,0	57,0	57,0	4,0	5,0	20,0	Não	17,5	5,0	5,0	5,0	8,0	65,0	5,0	8,0	65,0	0,079

L_x: menor vão efetivo da laje. L_y: maior vão efetivo da laje.
 f_{ck}: resistência característica a compressão do concreto.
 c: comprimento do aço. λ: razão entre L_y e L_x.
 H, A_x, A_y, B_x, e B_y são características da cubeta. Ver detalhes na figura do roteiro de cálculo.
 h: altura (espessura) da laje. d: altura (espessura) útil da laje.
 b_w: largura da base da nervura. h_f: largura da mesa da viga T considerada.
 V: volume de concreto por metro quadrado de laje.

Tabela 3 – Dimensionamento de laje nervurada em concreto armado **Parte 02 de 09**

p _{CA} [kg/m ³]	SC ₁ [kN]	SC ₂ [kN/m ²]	PP [kN/m ²]	g [kN/m ²]	q [kN/m ²]	γ _g	γ _q	F ₁ ELU [kN/m ²]	F ₂ ELS [kN/m ²]	q _{1,x} (ELU) [kN/m]	q _{1,y} (ELU) [kN/m]	seção transversal da viga no vão X					seção transversal da viga no vão Y				
												Y _{CG(+)} [cm]	Y _{CG(-)} [cm]	I [cm ⁴]	W ₀₍₊₎ [cm ³]	W ₀₍₋₎ [cm ³]	Y _{CG(+)} [cm]	Y _{CG(-)} [cm]	I [cm ⁴]	W ₀₍₊₎ [cm ³]	W ₀₍₋₎ [cm ³]
2500,0	0,000	1,280	1,925	3,205	2,000	1,4	1,4	7,287	5,205	4,737	4,737	15,3	4,7	9412,8	615,2	2002,7	15,3	4,7	9412,8	615,2	2002,7
2500,0	0,000	1,280	1,925	3,205	2,000	1,4	1,4	7,287	5,205	4,737	4,737	15,3	4,7	9412,8	615,2	2002,7	15,3	4,7	9412,8	615,2	2002,7
2500,0	0,000	1,280	1,925	3,205	2,000	1,4	1,4	7,287	5,205	4,737	4,737	15,3	4,7	9412,8	615,2	2002,7	15,3	4,7	9412,8	615,2	2002,7
2500,0	0,000	1,280	1,925	3,205	2,000	1,4	1,4	7,287	5,205	4,737	4,737	15,3	4,7	9412,8	615,2	2002,7	15,3	4,7	9412,8	615,2	2002,7

p_{CA}: peso específico do concreto armado.
 SC₁: sobrecarga pontual sobre a laje (ex. paredes, balcões, etc). SC₂: sobrecarga distribuída sobre a laje (ex. contra-piso, revestimento, etc).
 PP: peso próprio da laje.
 g: somatório das cargas permanentes. q: somatório das cargas acidentais.
 γ_g: coeficiente de ponderação das cargas permanentes, conforme tabela 11.1 da ABNT NBR 6118:2014.
 γ_q: coeficiente de ponderação das cargas acidentais, conforme tabela 11.1 da ABNT NBR 6118:2014.
 F₁: combinação das cargas para o estado limite último (ELU), conforme tabela 11.3 da ABNT NBR 6118:2014.
 F₂: combinação rara das cargas para o estado limite de serviço (ELS), conforme tabela 11.4 da ABNT NBR 6118:2014.
 q₁: carga linear sobre a viga T considerada.
 Y_{CG}: distância do centro de gravidade da seção transversal da viga T considerada até a face inferior da nervura. Cálculo em planilha própria.
 I: inércia da seção transversal da viga T em relação ao eixo horizontal do centro de gravidade.
 W₀: módulo de resistência máximo para a viga T considerada.

Tabela 3 – Dimensionamento de laje nervurada em concreto armado **Parte 03 de 09**

f _{ct,m} [MPa]	f _{ctk,sup} [MPa]	M _{d,min} (+) vão x [kN.cm]	M _{d,min} (-) vão x [kN.cm]	M _{d,min} (+) vão y [kN.cm]	M _{d,min} (-) vão y [kN.cm]	Coeficientes de Czerny				M _x (+) [kN.cm]	M _y (+) [kN.cm]	M _x (-) [kN.cm]	M _y (-) [kN.cm]	M _{sdx} (+) [kN.cm]	M _{sdy} (+) [kN.cm]	M _{sdx} (-) [kN.cm]	M _{sdy} (-) [kN.cm]	M' _{sdx} (+) [kN.cm]	M' _{sdy} (+) [kN.cm]	M' _{sdx} (-) [kN.cm]	M' _{sdy} (-) [kN.cm]	
						α _x	α _y	β _x	β _y													
2,565	3,334	164,11	534,24	164,11	534,24	22,70	22,70	0,00	0,00	187,8	187,8	0,0	0,0	187,8	187,8	0,0	0,0	187,8	187,8	0,0	0,0	0,0
2,565	3,334	164,11	534,24	164,11	534,24	14,72	22,78	0,00	0,00	289,6	187,1	0,0	0,0	289,6	187,1	0,0	0,0	289,60	187,10	0,0	0,0	0,0
2,565	3,334	164,11	534,24	164,11	534,24	11,38	23,50	0,00	0,00	374,6	181,4	0,0	0,0	374,6	181,4	0,0	0,0	374,60	181,40	0,0	0,0	0,0
2,565	3,334	164,11	534,24	164,11	534,24	9,90	23,50	0,00	0,00	430,6	181,4	0,0	0,0	430,6	181,4	0,0	0,0	430,60	181,40	0,0	0,0	0,0

f_{ct,m}: resistência média à tração do concreto, conforme item 8.2.5 da ABNT NBR 6118:2014.
 f_{ctk,sup}: resistência superior à tração do concreto, conforme item 8.2.5 da ABNT NBR 6118:2014.
 M_{d,min}: momento mínimo a ser considerado nos cálculos, conforme item 17.3.5.2.1 da ABNT NBR 6118:2014.
 α: coeficiente das tabelas de Czerny para cálculo do momento fletor positivo máximo na laje.
 β: coeficiente das tabelas de Czerny para cálculo do momento fletor negativo máximo na laje.
 M_x: momento fletor máximo na direção x da laje. M_y: momento fletor máximo na direção y da laje.
 (+): positivo. (-): negativo.
 M_{sdx}: momento solicitante de cálculo adotado em função do momento fletor mínimo.
 M'_{sdx}: momento solicitante de cálculo compatibilizados.

Tabela 3 – Dimensionamento de laje nervurada em concreto armado **Parte 04 de 09**

γ _c	f _{cd} [kN/cm ²]	Posição da linha neutra						Verificação da linha neutra (x/d)						Tipo de aço	Ø _{aço,x} [+] [mm]	Ø _{aço,y} [+] [mm]	γ _s	f _{yk} [kN/cm ²]	f _{yd} [kN/cm ²]	A _{s,min,x} [cm ²]	A _{s,min,y} [cm ²]
		X _x (+) [cm]	X _y (+) [cm]	X _{x1} (-) [cm]	X _{x2} (-) [cm]	X _{y1} (-) [cm]	X _{y2} (-) [cm]	X _x (+)	X _y (+)	X _{x1} (-)	X _{x2} (-)	X _{y1} (-)	X _{y2} (-)								
1,4	1,786	0,136	0,136	0,000	0,000	0,000	0,000	Passa!	Passa!	-	-	-	-	CA-50	12,5	12,5	1,15	50	43,48	0,634	0,634
1,4	1,786	0,211	0,136	0,000	0,000	0,000	0,000	Passa!	Passa!	-	-	-	-	CA-50	12,5	12,5	1,15	50	43,48	0,634	0,634
1,4	1,786	0,273	0,132	0,000	0,000	0,000	0,000	Passa!	Passa!	-	-	-	-	CA-50	12,5	12,5	1,15	50	43,48	0,634	0,634
1,4	1,786	0,314	0,132	0,000	0,000	0,000	0,000	Passa!	Passa!	-	-	-	-	CA-50	12,5	12,5	1,15	50	43,48	0,634	0,634

γ_c: coeficiente de ponderação da resistência do concreto, conforme tabela 12.1 da ABNT NBR 6118:2014.
 f_{cd}: resistência de cálculo do concreto ao 28 dias, conforme item 12.3.3 da ABNT NBR 6118:2014.
 X: posição da linha neutra em relação à face superior da laje.
 x/d: verificação conforme item 14.6.4.3 da ABNT NBR 6118:2014.
 Ø: diâmetro. γ_s: coeficiente de ponderação da resistência do aço, conforme tabela 12.1 da ABNT NBR 6118:2014.
 f_{yk}: resistência característica do aço.
 f_{yd}: resistência de cálculo do aço, conforme item 12.3.1 da ABNT NBR 6118:2014.
 A_{s,min}: área de aço mínima para a seção de concreto, conforme item 17.3.5.2.1 da ABNT NBR 6118:2014.

Tabela 3 – Dimensionamento de laje nervurada em concreto armado **Parte 05 de 09**

Área de aço por seção: [cm ²]						N _{barras} nervura				N _{barras} necessárias por b _f				S _{barras} negativas				N _{barras} mínimas por b _f				Quantidade de barras totais:						A _{s,mesa} [cm ² /m]
(+) em x	(+) em y	(-) em x ₁	(-) em x ₂	(-) em y ₁	(-) em y ₂	(+) em x	(+) em y	(-) em x ₁	(-) em x ₂	(-) em y ₁	(-) em y ₂	em x ₁ [cm]	em x ₂ [cm]	em y ₁ [cm]	em y ₂ [cm]	(-) em x ₁	(-) em x ₂	(-) em y ₁	(-) em y ₂	(+) em x	(+) em y	(-) em x ₁	(-) em x ₂	(-) em y ₁	(-) em y ₂			
0,248	0,248	0,000	0,000	0,000	0,000	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	4	0	0	0	0	0,6	
0,382	0,247	0,000	0,000	0,000	0,000	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	4	0	0	0	0	0,6		
0,495	0,239	0,000	0,000	0,000	0,000	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	4	0	0	0	0	0,6		
0,570	0,239	0,000	0,000	0,000	0,000	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	4	0	0	0	0	0,6		

N: quantidade de barras S: espaçamento das barras de aço.
 A_{s,mesa}: área de aço mínima por metro na mesa, conforme item 5.6 da ABNT NBR 14860-1:2002.

Tabela 3 – Dimensionamento de laje nervurada em concreto armado **Parte 06 de 09**

Ø _{aço,x e y} [mm]	N _{barras x e y} [barras/m]	S _{barras} [cm]	N _{barras,x} [barras/m]	N _{barras,y} [barras/m]	L _g [cm]	Comprimento total das barras [m]						Massa linear do:						Massa total [kg]					
						(+) em x	(+) em y	(-) em x ₁	(-) em x ₂	(-) em y ₁	(-) em y ₂	aço x (+) [kg/m]	aço y (+) [kg/m]	aço x ₁ (-) [kg/m]	aço x ₂ (-) [kg/m]	aço y ₁ (-) [kg/m]	aço y ₂ (-) [kg/m]		aço malha [kg/m]				
4,2	5	20,0	15	15	10,0	13,12	13,12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,624	0,624	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,109	26,184
4,2	5	20,0	20	15	10,0	19,68	17,12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,624	0,624	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,109	36,043
4,2	5	20,0	25	15	10,0	22,96	21,12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,624	0,624	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,109	43,856
4,2	5	20,0	30	15	10,0	29,52	25,12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,624	0,624	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,109	53,715

Ø: diâmetro do aço. S: espaçamento das barras de aço.
 L_g: comprimento do gancho de ancoragem, conforme item 9.4.2.3 da ABNT NBR 6118:2014.

Tabela 3 – Dimensionamento de laje nervurada em concreto armado **Parte 07 de 09**

E_s [GPa]	α_c	E_{ci} [MPa]	α_1	E_{cs} [MPa]	α_2	I_2 (menor vão) [cm ⁴]	W_{max} [mm]	t_i [meses]	t_f [meses]	$\Delta\xi$	$A_{c,y}$ vão x [cm ²]	ρ'	α_y	$W_{fluência}$ [mm]	W_{total} [mm]	Parâmetros para W_{lim}	W_{limite} [mm]	Contra- flecha [mm]	Verif. Flecha
210,0	1,2	33600,0	0,863	28980,0	7,246	2679,78	0,566	1,0	70,0	1,323	422,50	0,001	1,265	0,715	1,281	Visual	12,000	0,0	Passa!
210,0	1,2	33600,0	0,863	28980,0	7,246	2657,05	0,570	1,0	70,0	1,323	422,50	0,001	1,265	0,721	1,292	Visual	12,000	0,0	Passa!
210,0	1,2	33600,0	0,863	28980,0	7,246	2638,20	0,574	1,0	70,0	1,323	422,50	0,001	1,265	0,726	1,301	Visual	12,000	0,0	Passa!
210,0	1,2	33600,0	0,863	28980,0	7,246	2625,86	0,577	1,0	70,0	1,323	422,50	0,001	1,265	0,730	1,307	Visual	12,000	0,0	Passa!

E_s : módulo de elasticidade do aço.
 α_c : coeficiente função do tipo de mineral que compõe o agregado do concreto, conforme item 8.2.8 da ABNT NBR 6118:2014.
 E_{ci} : módulo de elasticidade inicial do concreto, conforme item 8.2.8 da ABNT NBR 6118:2014.
 α_1 : coeficiente de relação entre o módulo de elasticidade inicial e secante, conforme item 8.2.8 da ABNT NBR 6118:2014.
 E_{cs} : módulo de elasticidade secante do concreto, conforme item 8.2.8 da ABNT NBR 6118:2014.
 α_2 : fator de correção do módulo de elasticidade do aço para o concreto.
 I_2 : momento de inércia para região comprimida no estágio II da viga T considerada.
 t_i : tempo inicial, em meses, da adção da carga.
 t_f : tempo final, em meses, para verificação da flecha de fluência.
 $\Delta\xi$: variação do coeficiente função do tempo para flecha de fluência, conforme item 17.3.2.1.2 da ABNT NBR 6118:2014.
 α_y : fator de flecha adicional, conforme item 17.3.2.1.2 da ABNT NBR 6118:2014.
 W_{max} : flecha máxima imediata.
 $W_{fluência}$: flecha aproximada devido ao efeito de fluência do concreto ao longo do tempo, conforme o item 17.3.2.1.2 da ABNT NBR 6118:2014.
 W_{total} : flecha total. W_{limite} : flecha limite conforme tabela 13.3 da ABNT NBR 6118:2014.

Tabela 3 – Dimensionamento de laje nervurada em concreto armado **Parte 08 de 09**

a [m]	b/a	Coef. de transferência de carga				Reação linear [kN/m] (ELU):				Reação linear [kN/m] (ELS):				$V_{sd,max}$ [kN]	α_{v2}	V_{Rd2} [kN]	Verif. $V_{sd} \leq V_{Rd2}$	Necessidade de estribos: $V_{sd} > V_{Rd2}$
		r'_x [apoiada]	r''_x [engastada]	r'_y [apoiada]	r''_y [engastada]	borda x apoio	borda x engaste	borda y apoio	borda y engaste	borda x apoio	borda x engaste	borda y apoio	borda y engaste					
3,00	1,00	0,250	0,000	0,250	0,000	5,465	0,000	5,465	0,000	3,904	0,000	3,904	0,000	3,553	0,900	37,969	Passa!	Estribo mín.
4,00	1,33	0,250	0,000	0,315	0,000	7,287	0,000	9,182	0,000	5,205	0,000	6,559	0,000	5,968	0,900	37,969	Passa!	Estribo mín.
5,00	1,67	0,250	0,000	0,353	0,000	9,109	0,000	12,862	0,000	6,507	0,000	9,187	0,000	8,360	0,900	37,969	Passa!	Estribo mín.
6,00	2,00	0,250	0,000	0,375	0,000	10,931	0,000	16,396	0,000	7,808	0,000	11,712	0,000	10,658	0,900	37,969	Passa!	Estribo mín.

a : vão com maior número de engaste. Caso o número de engaste seja igual nas duas direções, "a" refere-se ao menor vão.
 r : coeficientes de transferência de carga da laje para os apoios.
 V_{sd} : esforço cortante solicitante.
 α_{v2} : coeficiente função do f_{ck} do concreto, conforme item 17.4.2.2 da ABNT NBR 6118:2014.
 V_{Rd2} : resistência ao ensorço cortante da seção de concreto da nervura, conforme item 17.4.2.2 da ABNT NBR 6118:2014.

Tabela 3 – Dimensionamento de laje nervurada em concreto armado **Parte 09 de 09**

\emptyset estribo máx [mm]	\emptyset estribo ≥ 5 mm [mm]	Ângulo estribo [°]	S_{max} [cm]	S_{adot} [cm]	$A_{sw,min}$ [cm ²]	A_{sw} [cm ²]	f_{ctd} [kN/cm ²]	V_{Rd3} [kN]	Verificação $V_{sd} \leq V_{Rd3}$	Âng. Gancho [°]	L_{gancho} [cm]	L_{total} estribo [cm]	$N_{estribo,x}$ por nervura	$N_{estribo,y}$ por nervura	L_{tot} aço estribos [m]	ρ_{linear} estribo [kg/m]	Massa tot estribos [kg]	Total aço na laje [kg]	Total de concreto na laje [m ³]
5,00	5,0	90	10,5	10,0	0,054	0,196	0,156	21,636	Passa!	circular	5,0	25,0	30	30	69,2	0,154	10,662	36,845	0,707
5,00	5,0	90	10,5	10,0	0,054	0,196	0,156	21,636	Passa!	circular	5,0	25,0	30	40	92,3	0,154	14,215	50,259	0,942
5,00	5,0	90	10,5	10,0	0,054	0,196	0,156	21,636	Passa!	circular	5,0	25,0	30	50	115,4	0,154	17,769	61,625	1,178
5,00	5,0	90	10,5	10,0	0,054	0,196	0,156	21,636	Passa!	circular	5,0	25,0	30	60	138,5	0,154	21,323	75,038	1,413

\emptyset : diâmetro do aço.
 S_{max} : espaçamento máximo dos estribos, conforme item da ABNT NBR 6118:2014. S_{adot} : espaçamento adotado para os estribos.
 A_{sw} : área de aço da armadura transversal (estribos).
 f_{ctd} : resistência de cálculo à tração do concreto, conforme item 17.4.2.2 da ABNT NBR 6118:2014.
 V_{Rd3} : resistência ao cortante em função do aço dos estribos, conforme item 17.4.2.2 da ABNT NBR 6118:2014.
 ρ_{linear} : massa linear da barra de aço.

FONTE: Autoria própria.

2.4.3 Laje treliçada

TABELA 4: Dimensionamento de lajes treliçadas.

Tabela 4 – Dimensionamento de laje com treliça pré-moldada em concreto armado **Parte 01 de 05**

Laje	L_x [m]	L_y [m]	f_{ck} [MPa]	c [mm]	Características do bloco							b_T [cm]	h_T [cm]	h [cm]	b_w [cm]	L_f [cm]	d [cm]	V [m ³ /m ²]	ρ_{CA} [kg/m ³]	SC_1 [kN]	SC_2 [kN/m ²]	P_b [kN/m ²]	PP [kN/m ²]	g [kN/m ²]	q [kN/m ²]
					Tipo	C_b [cm]	h_b [cm]	d_b [cm]	B_b [cm]	b_b [cm]	Y_b [kN/m ³]														
L1	3,00	3,00	25,0	25	EPS	1,2	7,0	3,0	40,0	37,0	0,190	12,0	5,0	12,0	9,0	49,0	9,5	0,065	2500,0	0,000	1,280	0,011	1,587	2,877	2,000
L2	3,00	4,00	25,0	25	EPS	1,2	7,0	3,0	40,0	37,0	0,190	12,0	5,0	12,0	9,0	49,0	9,5	0,065	2500,0	0,000	1,280	0,011	1,587	2,877	2,000
L3	3,00	5,00	25,0	25	EPS	1,2	7,0	3,0	40,0	37,0	0,190	12,0	5,0	12,0	9,0	49,0	9,5	0,065	2500,0	0,000	1,280	0,011	1,587	2,877	2,000
L4	3,00	6,00	25,0	25	EPS	1,2	7,0	3,0	40,0	37,0	0,190	12,0	5,0	12,0	9,0	49,0	9,5	0,065	2500,0	0,000	1,280	0,011	1,587	2,877	2,000

L_x : menor vão efetivo da laje. L_y : maior vão efetivo da laje. f_{ck} : resistência característica a compressão do concreto.
 C_b, h_b, d_b, B_b, b_b e Y_b são características do bloco de EPS ou cerâmico que compõe o enchimento da laje. Ver detalhes na figura do roteiro de cálculo.
 h : altura (espessura) da laje. d : altura (espessura) útil da laje. b_w : largura da base da nervura. L_f : largura da mesa da viga T considerada.
 V : volume de concreto por metro quadrado de laje. ρ_{CA} : peso específico do concreto armado.
 SC_1 : sobrecarga pontual sobre a laje (ex. paredes, balcões, etc). SC_2 : sobrecarga distribuída sobre a laje (ex. contra-piso, revestimento, etc).
 P_b : peso do bloco por metro quadrado de laje. PP: peso próprio da laje.
 g : somatório das cargas permanentes. q : somatório das cargas acidentais.

Tabela 4 – Dimensionamento de laje com treliça pré-moldada em concreto armado																	Parte 02 de 05	
V_g	V_q	F_1 ELU [kN/m ²]	F_2 ELS [kN/m ²]	q_1 (ELU) [kN/m]	Y_{CG} [cm]	I [cm ⁴]	W_0 [cm ³]	$f_{ct,m}$ [MPa]	$f_{ctk,sup}$ [MPa]	$M_{d,min}$ [kN.cm]	$M_{sd,max}$ [kN.cm]	$M_{sd,adot}$ [kN.cm]	V_c	f_{cd} [kN/cm ²]	x [cm]	Posição da LN	Verif. (x/d)	
1,4	1,4	6,828	4,877	3,346	8,1	3010,0	371,6	2,565	3,334	99,13	376,39	376,39	1,4	1,786	0,686	Na mesa	Passa!	
1,4	1,4	6,828	4,877	3,346	8,1	3010,0	371,6	2,565	3,334	99,13	376,39	376,39	1,4	1,786	0,686	Na mesa	Passa!	
1,4	1,4	6,828	4,877	3,346	8,1	3010,0	371,6	2,565	3,334	99,13	376,39	376,39	1,4	1,786	0,686	Na mesa	Passa!	
1,4	1,4	6,828	4,877	3,346	8,1	3010,0	371,6	2,565	3,334	99,13	376,39	376,39	1,4	1,786	0,686	Na mesa	Passa!	

V_g : coeficiente de ponderação das cargas permanentes, conforme tabela 11.1 da ABNT NBR 6118:2014.
 V_q : coeficiente de ponderação das cargas acidentais, conforme tabela 11.1 da ABNT NBR 6118:2014.
 F_1 : combinação das cargas para o estado limite último (ELU), conforme tabela 11.3 da ABNT NBR 6118:2014.
 F_2 : combinação rara das cargas para o estado limite de serviço (ELS), conforme tabela 11.4 da ABNT NBR 6118:2014.
 Y_{CG} : distância do centro de gravidade da seção transversal da viga T considerada até a face inferior da nervura. Cálculo em planilha própria.
 I : inércia da seção transversal da viga T em relação ao eixo horizontal do centro de gravidade.
 W_0 : módulo de resistência máximo para a viga T considerada.
 $f_{ct,m}$: resistência média à tração do concreto, conforme item 8.2.5 da ABNT NBR 6118:2014.
 $f_{ctk,sup}$: resistência característica superior à tração do concreto, conforme item 8.2.5 da ABNT NBR 6118:2014.
 $M_{d,min}$: momento fletor mínimo, conforme item 17.3.5.2.1 da ABNT NBR 6118:2014.
 $M_{sd,max}$: momento fletor máximo calculado.
 $M_{sd,adot}$: momento fletor adotado para dimensionamento do aço e verificações.
 V_c : coeficiente de ponderação da resistência do concreto, conforme tabela 12.1 da ABNT NBR 6118:2014.
 f_{cd} : resistência de cálculo do concreto ao 28 dias, conforme item 12.3.3 da ABNT NBR 6118:2014.
 x : distância entre a linha neutra e a face superior da viga T (fibra mais comprimida).
 x/d : verificação conforme item 14.6.4.3 da ABNT NBR 6118:2014.

Tabela 4 – Dimensionamento de laje com treliça pré-moldada em concreto armado																	Parte 03 de 05	
$V_{sd,max}$ [kN]	A_c [cm ²]	α_{V2}	V_{Rd2} [kN]	Verificação $V_{sd} \leq V_{Rd2}$	Tipo de aço	$\phi_{aço}$ nervura [mm]	$\phi_{aço}$ mesa [mm]	V_s	f_{yk} [kN/cm ²]	f_{yd} [kN/cm ²]	A_s vigota pré-moldada (nervura)			Nº barras na nervura	$A'_{s,min}$ x e y na mesa [cm ² /m]	Nº barras x e y na mesa [barras/m]	Espaçamento aço da mesa [cm]	
5,019	287,00	0,900	124,538	Passa!	CA-50	4,8	4,8	1,15	50	43,48	$A_{s,min}$ [cm ²]	$A_{s,nec}$ [cm ²]	$A_{s,adot}$ [cm ²]	0,938	0,60	4	25,0	
5,019	287,00	0,900	124,538	Passa!	CA-50	4,8	4,8	1,15	50	43,48	0,431	0,938	0,938	6	0,60	4	25,0	
5,019	287,00	0,900	124,538	Passa!	CA-50	4,8	4,8	1,15	50	43,48	0,431	0,938	0,938	6	0,60	4	25,0	
5,019	287,00	0,900	124,538	Passa!	CA-50	4,8	4,8	1,15	50	43,48	0,431	0,938	0,938	6	0,60	4	25,0	

$V_{sd,max}$: esforço cortante máximo na viga T considerada.
 A_c : área de concreto da seção transversal da viga T considerada.
 α_{V2} : coeficiente função do f_{ck} do concreto, conforme item 17.4.2.2 da ABNT NBR 6118:2014.
 V_{Rd2} : esforço cortante resistente. ϕ : diâmetro do aço.
 V_s : coeficiente de ponderação da resistência do aço, conforme tabela 12.1 da ABNT NBR 6118:2014.
 f_{yk} : resistência característica do aço. f_{yd} : resistência de cálculo do aço.
 $A_{s,min}$: área de aço mínima para a seção de concreto, conforme item 17.3.5.2.1 da ABNT NBR 6118:2014.
 $A_{s,nec}$: área de aço necessária na nervura para suportar o esforço de momento fletor.
 $A_{s,adot}$: área de aço adotada. $A'_{s,min}$: área de aço mínima por metro na mesa (aço da tela).

Tabela 4 – Dimensionamento de laje com treliça pré-moldada em concreto armado																	Parte 04 de 05	
E_s [GPa]	α_E	E_{ci} [MPa]	α_i	E_{cs} [MPa]	α_e	I_2 [cm ⁴]	W_{max} [mm]	t_i [meses]	t_f [meses]	$\Delta\xi$	ρ'	α_f	$W_{fluência}$ [mm]	W_{total} [mm]	Parâmetros para W_{lim} .	W_{limite} [mm]	Contra- flecha [mm]	Verif. Flecha
210,0	1,2	33600,0	0,863	28980,0	7,246	533,55	16,301	1,0	70,0	1,323	0,001	1,259	20,516	36,816	Visual	12,000	36,0	Passa!
210,0	1,2	33600,0	0,863	28980,0	7,246	533,55	16,301	1,0	70,0	1,323	0,001	1,259	20,516	36,816	Visual	12,000	36,0	Passa!
210,0	1,2	33600,0	0,863	28980,0	7,246	533,55	16,301	1,0	70,0	1,323	0,001	1,259	20,516	36,816	Visual	12,000	36,0	Passa!
210,0	1,2	33600,0	0,863	28980,0	7,246	533,55	16,301	1,0	70,0	1,323	0,001	1,259	20,516	36,816	Visual	12,000	36,0	Passa!

E_s : módulo de elasticidade do aço.
 α_E : coeficiente função do tipo de mineral que compõe o agregado do concreto, conforme item 8.2.8 da ABNT NBR 6118:2014.
 E_{ci} : módulo de elasticidade inicial do concreto, conforme item 8.2.8 da ABNT NBR 6118:2014.
 α_i : coeficiente de relação entre o módulo de elasticidade inicial e secante, conforme item 8.2.8 da ABNT NBR 6118:2014.
 E_{cs} : módulo de elasticidade secante do concreto, conforme item 8.2.8 da ABNT NBR 6118:2014.
 α_e : fator de correção do módulo de elasticidade do aço para o concreto.
 I_2 : momento de inércia para região comprimida no estádio II da viga T considerada.
 t_i : tempo inicial, em meses, da adção da carga.
 t_f : tempo final, em meses, para verificação da flecha de fluência.
 $\Delta\xi$: variação do coeficiente função do tempo para flecha de fluência, conforme item 17.3.2.1.2 da ABNT NBR 6118:2014.
 α_f : fator de flecha adicional, conforme item 17.3.2.1.2 da ABNT NBR 6118:2014.
 W_{max} : flecha máxima imediata.
 $W_{fluência}$: flecha aproximada devido ao efeito de fluência do concreto ao longo do tempo, conforme o item 17.3.2.1.2 da ABNT NBR 6118:2014.
 W_{total} : flecha total. $W_{fluência}$: flecha limite conforme tabela 13.3 da ABNT NBR 6118:2014.

Tabela 4 – Dimensionamento de laje com treliça pré-moldada em concreto armado **Parte 05 de 05**

R _{ap} (ELU) [kN/m]	R _{ap} (ELS) [kN/m]	N _{vigotas}	H _{fio,sup} [cm]	Ø _{aço diag} [mm]	Ø _{aço fio sup} [mm]	Comprimento total dos fios de aço:				P _{linear} aço diag [kg/m]	P _{linear} aço fio sup [kg/m]	P _{linear} aço fio inf [kg/m]	P _{linear} aço tela [kg/m]	Massa total de aço:				Aço tot [kg]	V _{conc. Tot} [m³]
						L _{aço diag} [m]	L _{aço fio sup} [m]	L _{aço fio inf} [m]	L _{aço tela} [m]					M _{aço diag} [kg]	M _{aço fio sup} [kg]	M _{aço fio inf} [kg]	M _{aço tela} [kg]		
20,484	14,631	6	8,0	4,2	4,8	48,87	18,00	108,00	72,00	0,109	0,140	0,140	0,140	5,326	2,520	15,120	10,080	33,046	0,582
20,484	14,631	8	8,0	4,2	4,8	65,15	24,00	144,00	96,00	0,109	0,140	0,140	0,140	7,102	3,360	20,160	13,440	44,062	0,776
20,484	14,631	10	8,0	4,2	4,8	81,44	30,00	180,00	120,00	0,109	0,140	0,140	0,140	8,877	4,200	25,200	16,800	55,077	0,970
20,484	14,631	12	8,0	4,2	4,8	97,73	36,00	216,00	144,00	0,109	0,140	0,140	0,140	10,653	5,040	30,240	20,160	66,093	1,164

R_{ap}: reação nos apoios da laje (apoio das vigotas).
H_{fio,sup}: distância vertical entre o fio de aço superior e os fios inferiores da treliça. Ver detalhamento no roteiro de cálculo.
Ø: diâmetro do aço (fio ou barra de aço).
L: comprimento total de aço numa mesma bitola.
P_{linear}: massa linear do aço. M: massa total de aço de uma mesma bitola.

FONTE: Autoria própria.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Com base nos cálculos apresentados nas Tabelas 2, 3 e 4, os dados de interesse deste estudo estão apresentados na Tabela 5 e nas Figuras 5, 6 e 7.

TABELA 5: Peso, quantidade de aço e concreto por tipo de laje.

Laje	Dimensão [mxm]	Peso/área [kN/m²]	Quantidade aço [kg]	Volume de concreto [m³]
Maciça	3,0 x 3,0	1,962	30,157	0,720
	3,0 x 4,0	1,962	42,805	0,960
	3,0 x 5,0	1,962	61,008	1,200
	3,0 x 6,0	1,962	76,830	1,440
Nervurada	3,0 x 3,0	1,925	36,845	0,707
	3,0 x 4,0	1,925	50,259	0,942
	3,0 x 5,0	1,925	61,625	1,178
	3,0 x 6,0	1,925	75,038	1,413
Treliçada	3,0 x 3,0	1,587	33,046	0,582
	3,0 x 4,0	1,587	44,062	0,776
	3,0 x 5,0	1,587	55,077	0,970
	3,0 x 6,0	1,587	66,093	1,164

FONTE: Autoria própria

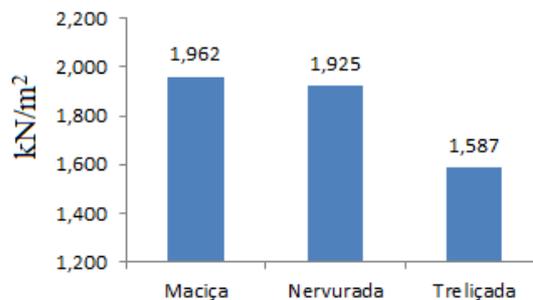


FIGURA 5: Peso por área para cada tipo de laje.
FONTE: Autoria própria.

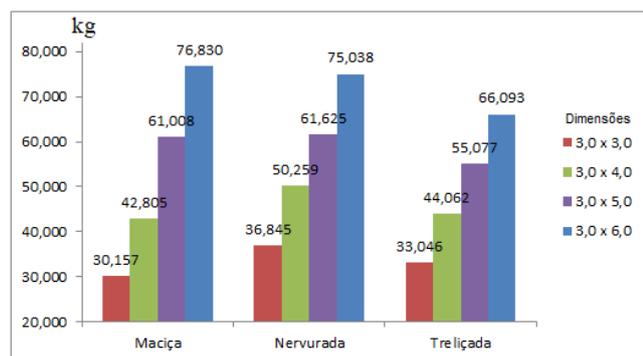


FIGURA 6: Quantidade de aço.
FONTE: Autoria própria.

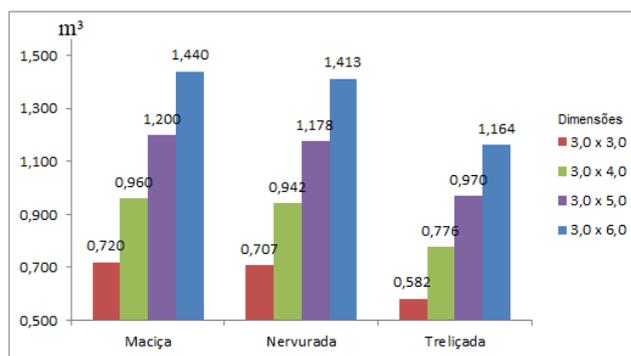


FIGURA 7: Quantidade de concreto.
FONTE: Autoria própria.

Em função das análises de comparação, ficaram evidentes as variações do peso, quantidade de aço e volume de concreto em cada tipo de laje. No quesito peso, é possível notar uma variação considerável. As lajes do tipo maciças são 23,63% mais pesadas que as do tipo treliçada e 1,92% mais pesadas que as do tipo nervuradas. Comparando as treliçadas e nervuradas, observa-se que as nervuradas são 21,30% mais pesadas que as treliçadas. Com base nesses dados, ficou notório que as lajes maciças e nervuradas possuem pouca diferença de peso para os casos analisados.

Para o quantitativo de aço, houve uma diferenciação das lajes em função das dimensões. No comparativo das lajes treliçadas e maciças, com dimensões 3,0m x 3,0m e 3,0m x 4,0m, há vantagem para

as do tipo maciça, já para as dimensões 3,0m x 5,0m e 3,0m x 6,0m, a vantagem fica com as do tipo treliçada. Na comparação das lajes nervuradas e maciças, também há uma variação na porcentagem do quantitativo de aço. Se a razão entre o comprimento e a largura for menor que 2, há vantagem na laje maciça, se maior ou igual a 2, a vantagem passa a ser nervurada. Na comparação nervurada e treliçada, a primeira gasta, em média, 12,75% mais aço que a segunda.

O quantitativo de concreto também varia em função do tipo de laje. Porém, quase não há variação em função das dimensões considerando tipos diferentes. As lajes maciças gastam, em média, 23,71% mais concreto que as do tipo treliçada e 1,88% mais concreto que as do tipo nervuradas. Comparando as treliçadas e nervuradas, observa-se que as nervuradas gastam 21,43% mais concreto que as treliçadas.

4. CONCLUSÕES

Em geral, para as dimensões analisadas, os resultados indicam que a laje treliçada apresenta vantagens significativas em relação às outras. No entanto, é importante considerar a análise do custo financeiro e a disponibilidade de materiais no local da obra, uma vez que esses fatores podem variar em diferentes regiões. Além disso, vale ressaltar que existem outros fatores relevantes que podem ser considerados, por exemplo, outras vinculações e vão maiores, no entanto, essas questões específicas não foram abordadas neste estudo.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARAÚJO, J. M. **Curso de Concreto Armado**. 3. ed. Rio Grande: Dunas, 2010.

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

_____. **NBR 6120**: Cargas para o cálculo de estruturas de edificações: procedimento. Rio de Janeiro, 1980.

_____. **NBR 14859-1**: Laje pré-fabricada - Pré-laje – Requisitos. Rio de Janeiro, 2002.

BOTELHO, M. H. C.; MARCHETTI, O. **Concreto Armado – Eu te amo**. 8. ed. São Paulo: Blucher, 2015.

CARVALHO, R. C.; FILHO, J. R. de F. **Cálculo e Detalhamento de Estruturas Usuais de Concreto Armado**. 3. ed. São Carlos: EdUFSCar, 2007.

FRANZ, G. **Beton-Kalender 1976. Taschenbuch für Beton-, Stahlbeton- und Spannbetonbau sowie die verwandten Fächer. Teil I**. Berlin: Wilhelm Ernst & Sohn, 1976.

PINHEIRO, L. M. **Fundamentos do concreto e projeto de edifícios**. São Carlos: USP, 2007.

PORTO, T. B.; FERNANDES, D. S. G. **Curso básico de concreto armado**. São Paulo: Oficina de textos, 2015.