

CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS

**DIMENSIONAMENTO E ANÁLISE COMPARATIVA DE CUSTOS ENTRE LAJES
MACIÇAS E LAJES PRÉ-MOLDADAS COM VIGOTAS TRELIÇADAS**

Nome do Aluno: Leandro Diniz Pitaluga

Orientador: Aellington Freire de Araújo

DIMENSIONAMENTO E ANÁLISE COMPARATIVA DE CUSTOS ENTRE LAJES MACIÇAS E LAJES PRÉ-MOLDADAS COM VIGOTAS TRELIÇADAS

Leandro Diniz Pitaluga

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao Centro Federal de Educação Tecnológica
de Minas Gerais como requisito parcial para
obtenção do título de Engenheiro Civil.

Varginha
2022

LEANDRO DINIZ PITALUGA

DIMENSIONAMENTO E ANÁLISE COMPARATIVA DE CUSTOS ENTRE LAJES
MACIÇAS E LAJES PRÉ-MOLDADAS COM VIGOTAS TRELIÇADAS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao Centro Federal de Educação Tecnológica
de Minas Gerais como requisito parcial para
obtenção do título de Engenheiro Civil.

Data de aprovação: 12/07/2022

Banca Examinadora:



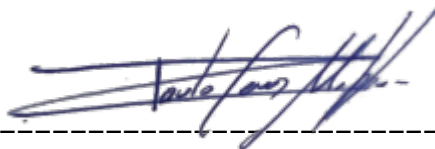
Prof. Dr. Aellington Freire de Araújo

Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (CEFET-MG) – Unidade
Varginha



Profa. Me. Lorena Cristine Soares

Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (CEFET-MG) – Unidade
Varginha



Prof. Dr. Paulo César Mappa

Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (CEFET-MG) – Unidade
Varginha

RESUMO

O setor da construção civil, em razão da crescente competitividade proporcionada pelo advento de novas tecnologias de produção, bem como pelo o aumento das demandas socioambientais que visam a preservação dos recursos naturais, tem optado pelo emprego de soluções técnicas que requerem o menor consumo de materiais e, ao mesmo tempo, garantam a satisfação dos requisitos de segurança, durabilidade e funcionalidade. Reduzir custos e garantir a sustentabilidade econômica e ambiental tem sido, portanto, a premissa básica de qualquer projeto de estruturas. Neste sentido, no presente trabalho é realizado o dimensionamento de um conjunto de lajes isoladas, com diferentes vãos de cálculo, bem como das lajes de um pavimento “tipo” proposto, considerando 4 e 6 pavimentos, cuja ferramenta utilizada foi o *software* de cálculo estrutural TQS. Em ambos os casos, foram empregados os sistemas de lajes maciças e lajes pré-moldadas com vigotas treliçadas, com o objetivo de comparar os custos de cada sistema. Para tanto, realizou-se a composição de custos unitários e a quantificação dos serviços e insumos com base nas tabelas do Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil (SINAPI) e nos dados fornecidos pelo TQS. De posse das informações, foram elaborados gráficos e tabelas apresentando os resultados e a análise comparativa de custos entre os dois sistemas de lajes.

Palavras-chave: laje maciça, laje treliçada, dimensionamento, quantitativo de materiais, custos.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	VII
LISTA DE TABELAS	IX
1 INTRODUÇÃO	11
2 OBJETIVOS	12
2.1 OBJETIVO GERAL	12
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	12
3 JUSTIFICATIVA.....	13
4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	13
4.1 CONTEXTUALIZAÇÃO HISTÓRICA DO TEMA	13
4.2 LAJES MACIÇAS.....	14
4.2.1 Pré-dimensionamento de lajes maciças.....	18
4.3 LAJE PRÉ-MOLDADA COM VIGOTAS TRELIÇADAS	19
4.3.1 Largura colaborante de vigas de seção T	20
4.3.2 Momento fletor atuante em uma nervura simplesmente apoiada.....	21
4.4 ANÁLISE ESTRUTURAL	21
4.4.1 Teoria de flexão das placas	23
4.4.2 Métodos numéricos computacionais.....	24
4.5 DIMENSIONAMENTO E VERIFICAÇÕES	26
4.5.1 Dimensionamento à flexão normal simples.....	26
4.5.2 Verificação ao cisalhamento	27
4.5.3 Cálculo das deformações	29
4.6 ORÇAMENTO DE OBRAS	31
4.6.1 Estimativa de custos.....	33
4.6.2 Orçamento preliminar	34
4.6.3 Orçamento analítico: SINAPI	35
5 METODOLOGIA.....	36
6 PRÉ-DIMENSIONAMENTO DAS LAJES DO PAVIMENTO TIPO	40
6.1 LAJES MACIÇAS.....	40
6.2 LAJES TRELIÇADAS.....	41
7 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS	42
7.1 LAJES ISOLADAS	43
7.2 DIMENSIONAMENTO DO PAVIMENTO “TIPO” ESTUDADO	43
7.2.1 Lajes Maciças.....	43
7.2.2 Lajes pré-moldadas com vigotas treliçadas	50
7.3 COMPOSIÇÃO DE CUSTOS DO PAVIMENTO “TIPO” ESTUDADO.....	59

7.3.1	Lajes maciças considerando 4 pavimentos.....	60
7.3.2	Lajes maciças considerando 6 pavimentos.....	65
7.3.3	Lajes treliçadas considerando 4 pavimentos	67
7.3.4	Lajes treliçadas considerando 6 pavimentos	73
7.4	DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	74
7.4.1	Lajes isoladas.....	74
7.4.2	Lajes do pavimento “tipo”	75
8	CONSIDERAÇÕES FINAIS	78
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	80
	APÊNDICE A – Custo da laje maciça isolada 8m x 8m.....	83
	APÊNDICE B – Custo da laje treliçada isolada 8m x 8m	85

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Aplicação do carregamento nas lajes.....	15
Figura 2 - Convenção do estilo de linhas para os vínculos engaste perfeito, apoio simples e borda livre.	16
Figura 3 - Critério para verificação da continuidade em lajes.	17
Figura 4– Numeração das lajes conforme os vínculos nas bordas.....	17
Figura 5 - Altura útil d para armadura de flexão positiva em laje maciça.	18
Figura 6 – Laje pré-fabricada com vigotas treliçadas (VT): (a) Seção Transversal; (b) Treliça Espacial.	19
Figura 7 – Largura de mesa colaborante.....	21
Figura 8 – Processo da grelha equivalente: (a) Planta de formas de um pavimento com lajes e vigas; (b) Grelha equivalente representando o pavimento.	25
Figura 9 – Malha de elementos finitos.....	26
Figura 10 – Valores do coeficiente ξ em função do tempo	31
Figura 11 - Indicador para o cálculo de volume de concreto da superestrutura.....	34
Figura 12 - Indicador para o cálculo do peso da armação.	34
Figura 13 - Indicador para o cálculo da área de fôrmas.	35
Figura 14 - Plantas de fôrmas: (a) laje maciça; (b) laje treliçada.	37
Figura 15 – Planta baixa do pavimento “tipo” estudado.....	38
Figura 16 – Planta fôrmas do pavimento “tipo” constituído de lajes maciças.....	40
Figura 17 – Planta de fôrmas do pavimento “tipo” constituído de lajes treliçadas unidirecionais.	42
Figura 18 - Armadura negativa horizontal das lajes maciças.....	45
Figura 19 - Armadura negativa vertical das lajes maciças.....	46
Figura 20 - Armadura positiva principal das lajes maciças.	47
Figura 21 - Armadura positiva secundária das lajes maciças.	48
Figura 22 - Grelha deformada das lajes maciças.	50
Figura 23 - Desenho de grelha das lajes treliçadas.....	50
Figura 24 - Planta de fôrmas com a identificação das vigotas treliçadas.....	51
Figura 25 - Planta de fabricação das vigotas treliçadas.	52
Figura 26 - Armadura positiva principal das regiões maciças das lajes treliçadas.	54
Figura 27 - Armadura positiva secundária (nervuras transversais) das regiões maciças das lajes treliçadas.....	55

Figura 28 - Armadura negativa horizontal das lajes treliçadas.	56
Figura 29 - Armadura negativa vertical das lajes treliçadas.....	57
Figura 30 - Grelha deformada das lajes treliçadas.	59
Figura 31 - Gráfico: percentuais dos insumos e custos totais das lajes maciças em 4 pavimentos.....	65
Figura 32 - Gráfico: percentuais dos insumos e custos totais das lajes maciças em 6 pavimentos.....	67
Figura 33 - Gráfico: percentuais dos insumos e custos totais das lajes treliçadas em 4 pavimentos.....	72
Figura 34 - Gráfico: percentuais dos insumos e custos totais das lajes treliçadas em 6 pavimentos.....	73
Figura 35 - Gráfico: custos totais das lajes isoladas.....	74
Figura 36 - Variação percentual de custos dos insumos, entre lajes maciças e treliçadas, considerando 4 pavimentos.	76
Figura 37 - Variação percentual de custos dos insumos, entre lajes maciças e treliçadas, considerando 6 pavimentos.	77
Figura 38 - Variação percentual de custos dos insumos entre lajes maciças de 4 e 6 pavimentos.....	77
Figura 39 - Variação percentual de custos dos insumos entre lajes treliçadas de 4 e 6 pavimentos.....	78

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Pré-dimensionamento das lajes maciças.....	40
Tabela 2 – Altura inicial de lajes pré-moldadas em função da carga e vão livres máximos.	41
Tabela 3 - Flechas totais (imediatas e diferidas) nas lajes isoladas de 8m x 8m.	43
Tabela 4 - Flechas totais (imediatas e diferidas) nas lajes maciças quanto à aceitabilidade sensorial.	49
Tabela 5 - Flechas totais (imediatas e diferidas) nas lajes maciças quanto aos efeitos em elementos não estruturais.	49
Tabela 6 - Flechas totais (imediatas e diferidas) nas lajes treliçadas quanto à aceitabilidade sensorial.	58
Tabela 7 - Flechas totais (imediatas e diferidas) nas lajes treliçadas quanto aos efeitos em elementos não estruturais.	58
Tabela 8 - Cotações de preço do concreto usinado C30.	59
Tabela 9 - Cotações de preços das lajes treliçadas H8 e H12 sem adicionais.	60
Tabela 10 - Composição de custos unitários para fôrmas de laje maciça para 4 utilizações.	61
Tabela 11 - Composição de custos unitários para concretagem de laje maciça.	62
Tabela 12 - Composição de custos unitários do aço CA-60 de 5.0 mm.	63
Tabela 13 - Composição de custos unitários do aço CA-50 de 6.3 mm.	63
Tabela 14 - Composição de custos unitários do aço CA-50 de 8.0 mm.	64
Tabela 15 - Custos totais das lajes maciças considerando 4 pavimentos.	64
Tabela 16 - Composição de custos unitários para fôrmas de laje maciça para 6 utilizações.	66
Tabela 17 - Custos totais das lajes maciças considerando 6 pavimentos.	66
Tabela 18 - Composição de custo unitário da laje treliçada H8.	68
Tabela 19 - Composição de custo unitário da laje treliçada H12.	69
Tabela 20 - Composição de custos unitários para concretagem de laje pré-moldada.	70
Tabela 21 - Composição de custos unitários do aço CA-50 de 10.0 mm.	71
Tabela 22 - Composição de custos unitários do aço CA-50 de 12,5 mm.	71
Tabela 23 - Custos totais das lajes treliçadas considerando 4 pavimentos.	72
Tabela 24 - Custos totais das lajes treliçadas considerando 6 pavimentos.	73

Tabela 25 - Diferença de custos entre os sistema de lajes maciça e treliçada, considerando 4 e 6 pavimentos.	75
Tabela 26 - Custos totais dos insumos considerando 4 e 6 pavimentos.....	75

1 INTRODUÇÃO

As lajes são elementos estruturais bidimensionais destinados a receber as cargas de utilização do pavimento e transferi-las para as vigas e pilares. A ABNT NBR 6118 (2014) define placas como *“Elementos de superfície plana sujeitos principalmente a ações normais ao seu plano. As placas de concreto são usualmente denominadas lajes”*.

Apesar de apresentarem maior rigidez e, conseqüentemente, menor deformação, as lajes maciças, em geral, demandam um grande volume de concreto, o que pode impactar diretamente no custo final da estrutura. Para grandes vãos, as lajes maciças se tornam antieconômicas, na medida em que o peso próprio se torna a principal carga atuante na estrutura. As seções retangulares possuem, para o momento fletor positivo, uma pequena altura comprimida. O restante da seção, abaixo da linha neutra, se encontra tracionada, e o concreto situado nesta região não contribui com a resistência à flexão. Com a ideia de remover esse concreto tracionado, surgiu a ideia das lajes nervuradas, moldadas no local ou pré-moldadas (CARVALHO; PINHEIRO 2009).

Segundo a ABNT NBR 6118 (2014), as “lajes nervuradas são as lajes moldadas no local ou com nervuras pré-moldadas, cuja zona de tração para momentos positivos esteja localizada nas nervuras entre as quais pode ser colocado material inerte”. As lajes nervuradas pré-moldadas podem ser produzidas com Vigota Comum (VC), Vigota Trelaçada (VT) e Vigota Protendida (VP). A ABNT NBR 14859-1 (2002) define que as vigotas trelaçadas são constituídas por uma “seção de concreto formando uma placa, com armadura trelaçada, parcialmente englobada pelo concreto da vigota”. A armadura da vigota trelaçada é constituída de uma trelça espacial de aço com três banzos paralelos e diagonais laterais de forma senoidal, soldadas aos banzos por meio de processo eletrônico (CARVALHO; FIGUEIREDO FILHO, 2014).

Para Droppa Júnior (1999), a principal vantagem da utilização das lajes pré-moldadas é a redução da quantidade de fôrmas, quando comparada às lajes maciças e às lajes nervuradas moldadas no local. Além disso, o emprego desse sistema de lajes permite a redução no consumo de concreto e de armadura, com conseqüente diminuição do peso próprio da estrutura. Outras vantagens adicionais, que a

tornariam uma solução técnica economicamente viável, são a facilidade de manuseio e de montagem, a maior velocidade de execução, com consequente redução da mão-de-obra, e a redução do escoramento. Em contrapartida, esse sistema de lajes apresenta como desvantagem deformações superiores às das lajes maciças, as quais, entretanto, podem ser controladas com a aplicação de contra-flecha.

O presente trabalho apresenta o dimensionamento de um conjunto de lajes isoladas com diferentes vãos de cálculo, assim como das lajes de um pavimento “tipo” proposto, com o objetivo de, a partir do quantitativo dos insumos e serviços levantados, realizar uma análise comparativa de custos entre os sistemas de laje maciça e laje pré-moldada com vigotas treliçadas.

A análise comparativa de custos entre os sistemas de lajes maciças e lajes pré-moldadas será realizada com base no Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil – SINAPI, que é uma ferramenta que define os valores dos insumos e serviços necessários às obras de engenharia. Cabe ressaltar que a composição de custos será realizada considerando-se somente os sistemas de lajes do pavimento estudado, sem levar em consideração os custos dos demais elementos estruturais, como vigas, pilares e fundações.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Realizar o dimensionamento e a análise comparativa de custos entre os sistemas de laje maciça e laje pré-moldada com vigotas treliçadas.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Apresentar aspectos e conceitos gerais relativos ao processo de dimensionamento de lajes maciças e lajes pré-moldadas com vigotas treliçadas, de acordo com as definições das normas técnicas pertinentes, apontando as vantagens e desvantagens de cada sistema;
- Desenvolver composições de custo unitário para cada sistema de lajes;
- Determinar o quantitativo de materiais e o custo total de ambos os sistemas de lajes.

3 JUSTIFICATIVA

Segundo Flório (2004), as principais vantagens que fazem com que o custo da laje com vigota pré-moldada seja inferior a outros sistemas são a facilidade de manuseio e montagem e a economia de fôrmas. Outros autores, como Cunha (2012) e Droppa Júnior (1999), já mencionado na introdução deste trabalho, destacam as mesmas vantagens. Como se observa, é corrente na literatura essa percepção de que as lajes pré-moldadas apresentam várias características positivas que as tornam menos onerosas, quando comparadas com as lajes maciças.

Flório (2004) destaca, ainda, que além de haver um grande déficit habitacional no país, sendo, portanto, necessário aumentar a velocidade de construção das unidades habitacionais, que grande parte da população não dispõe de recursos financeiros suficientes para adquirir imóveis, sendo fundamental reduzir custos.

O tema da pesquisa se justifica, portanto, pela necessidade da redução de custos na construção dos empreendimentos imobiliários. Os investimentos no setor da construção civil dependem, cada vez mais, da adoção de sistemas capazes de conciliar segurança estrutural, economia, durabilidade e funcionalidade. O tema proposto se torna, portanto, de grande relevância, visto que, para o pavimento tipo estudado, pretende-se verificar qual sistema de lajes apresenta maior viabilidade econômica, uma vez atendidos os critérios de segurança, durabilidade e funcionalidade adotados no dimensionamento.

4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1 CONTEXTUALIZAÇÃO HISTÓRICA DO TEMA

Pode-se afirmar que a origem da construção civil se confunde com a própria história do processo evolutivo da humanidade, tendo surgido como uma necessidade dos grupos humanos se protegerem contra as intempéries e dos ataques de outros grupos e animais ferozes. As inovações na construção civil, ao longo da história, ocorreram de acordo com os materiais, as técnicas construtivas disponíveis e a cultura de cada civilização, proporcionando, progressivamente, maior segurança, conforto e durabilidade. Segundo Queiroz (2019, p. 21),

A engenharia é uma das profissões mais antigas da humanidade. Desenvolveu-se a partir do momento em que o ser humano deixou de ser nômade caçador-coletor e passou a praticar a agricultura, domesticar e criar animais, formando, assim, os primeiros agrupamentos ou as primeiras

idades. Nessas condições, começou a construir as primeiras habitações para se proteger do clima e dos perigos naturais.

Segundo Nappi (1993), existem três categorias de processo produtivo no setor da construção civil, sendo elas o processo tradicional, o processo convencional e o processo industrializado. No processo tradicional, ainda bastante rudimentar, emprega-se materiais de origem natural, como madeira, barro e pedra, fazendo-se uso intensivo de mão-de-obra. O processo convencional é caracterizado pela utilização de materiais provenientes da indústria da construção civil, porém ainda com emprego intensivo de mão-de-obra e pouca mecanização. Já o processo industrializado se caracteriza por ser um processo construtivo mecanizado e racionalizado, no qual os componentes são produzidos fora do canteiro de obras, com mão-de-obra reduzida.

A construção civil se constitui em uma atividade de fundamental importância para o desenvolvimento econômico e social do país, tornando-se essencial aliar segurança estrutural e economia para estimular investimentos no setor. As constantes inovações tecnológicas, sobretudo os avanços na área da informática com a modelagem computacional, permitem que esse objetivo seja alcançado. Segundo Vizotto e Sartori (2010), “Devem ser estudadas soluções alternativas na construção civil, que garantam a segurança e promovam a economia”.

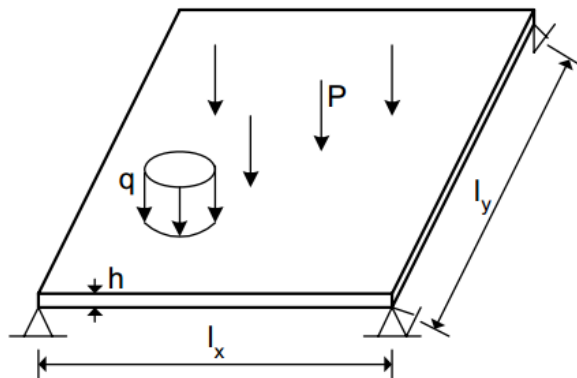
Neste sentido, a escolha do sistema de lajes a ser adotado no projeto de uma estrutura, requer uma análise criteriosa das diversas alternativas existentes, uma vez que esses elementos são responsáveis por um grande consumo de materiais, podendo, de acordo com Nappi (1993), “[...] representar sensíveis resultados no custo e qualidade da edificação”. A escolha do sistema de laje a ser adotado depende das características da edificação, como os vãos a vencer, os carregamentos e o número de pavimentos, devendo-se, portanto, levar em consideração fatores de ordem econômica e de segurança estrutural.

4.2 LAJES MACIÇAS

As lajes são elementos de superfície, planos e bidimensionais, que possuem comprimento e largura na mesma ordem de grandeza, bem maiores do que a espessura. Segundo Araújo (2014), “[...] são os elementos estruturais que têm a função básica de receber as cargas de utilização das edificações, aplicadas nos pisos,

e transmiti-las às vigas”. A Figura 1 ilustra a aplicação do carregamento nas lajes, sendo as cargas, em geral, distribuídas de forma perpendicular ao seu plano médio.

Figura 1 – Aplicação do carregamento nas lajes



Fonte: Araújo (2014).

Os pavimentos das edificações podem ser construídos com diversos tipos de lajes, como as lajes maciças de concreto armado e as lajes pré-moldadas com vigotas treliçadas, objetos de estudo deste trabalho.

Segundo Bastos (2021), a “Laje maciça é aquela onde toda a espessura é composta por concreto, contendo armaduras longitudinais de flexão e eventualmente armaduras transversais, e apoiada em vigas ou paredes ao longo das bordas”. As lajes maciças podem ser classificadas como sendo armadas em uma direção ou em duas direções. As lajes armadas em uma direção possuem relação entre vãos maior do que 2, ou seja:

$$\lambda = \frac{l_y}{l_x} > 2 \quad (1)$$

Onde:

l_x = menor vão;

l_y = maior vão.

Nas lajes armadas em uma direção, como os esforços solicitantes na direção do maior são de pequena magnitude, eles são, em geral, desprezados, bastando dispor uma armadura de distribuição. Segundo Bastos (2021) “Os esforços solicitantes e as flechas são calculados supondo-se a laje como uma viga com largura de 1 m, segundo a direção principal da laje”.

Já nas lajes armadas em duas direções, nas quais os esforços solicitantes são significativos nas duas direções, a relação entre os vãos é menor ou igual a 2, ou seja:

$$\lambda = \frac{l_y}{l_x} \leq 2 \quad (2)$$

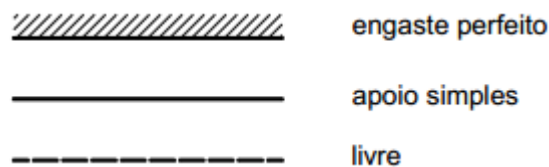
Onde:

l_x = menor vão;

l_y = maior vão.

Segundo Gontijo (2015), “Para o cálculo das deformações e dos esforços solicitantes nas lajes devem-se estabelecer os vínculos das mesmas com os seus apoios”. Desta forma, as lajes são também classificadas de acordo com os vínculos com os elementos em que elas se apoiam, geralmente as vigas de concreto armado. Os casos mais comuns de vinculação são o apoio simples, a borda livre, o engaste perfeito e o engaste elástico. O apoio simples ocorre nas bordas, onde não há ou não se admite continuidade da laje com as lajes adjacentes. O engaste perfeito ocorre em lajes em balanço e onde há continuidade com as lajes adjacentes. Quando se emprega programas computacionais, também é possível considerar o engaste elástico. A convenção da vinculação é apresentada diferentes aspectos, conforme mostrado na Figura 2.

Figura 2 - Convenção do estilo de linhas para os vínculos engaste perfeito, apoio simples e borda livre.



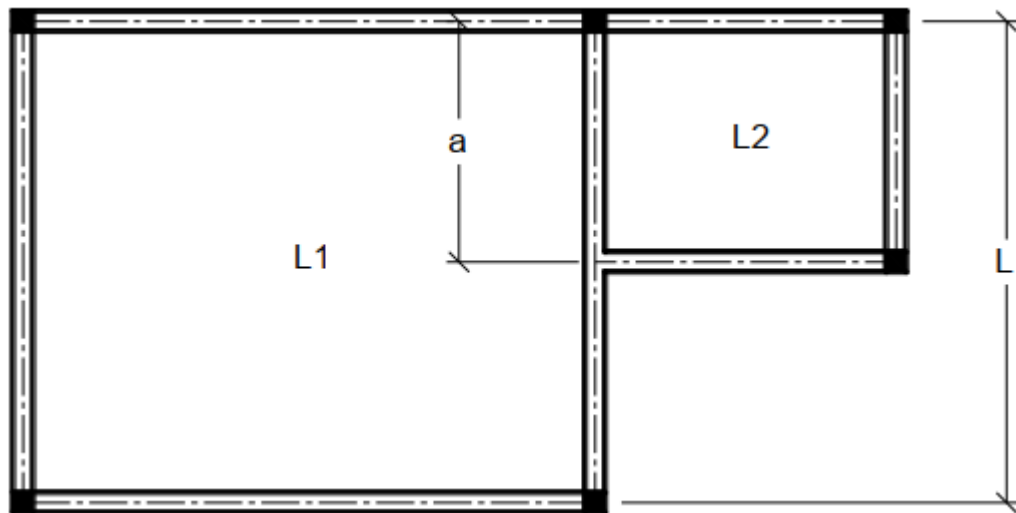
Fonte: Bastos (2021).

Para verificar a vinculação das lajes adjacentes, isto é, que possuem bordas comuns, pode-se adotar o seguinte critério (Figura 3):

Se $a \geq \frac{2}{3} \cdot L \rightarrow$ a laje L1 pode ser considerada engastada na laje L2;

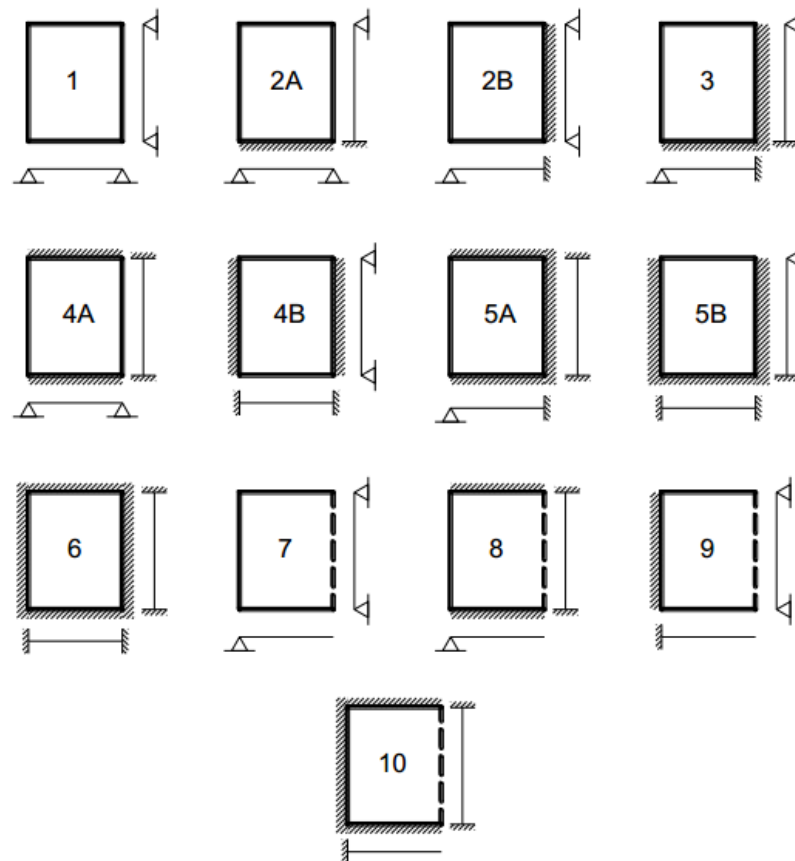
Se $a < \frac{2}{3} \cdot L \rightarrow$ a laje L1 deve ser considerada apoiada;

(3)

Figura 3 - Critério para verificação da continuidade em lajes.

Fonte: Bastos (2021)

As lajes também recebem uma numeração que permite diferenciá-las de acordo com as combinações de vínculos nas bordas, como apresentado na Figura 4. Tal numeração é sugerida nas tabelas de Barés.

Figura 4– Numeração das lajes conforme os vínculos nas bordas.

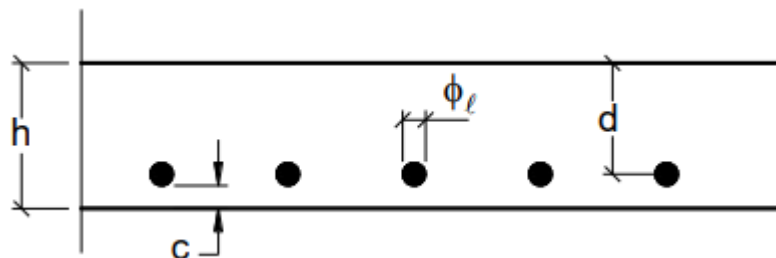
Fonte: Bastos (2021).

As principais ações a serem consideradas no projeto das lajes são as ações permanentes e as cargas variáveis. As ações permanentes são, em geral, constituídas pelo peso próprio, pelas cargas de revestimento inferior e superior e, eventualmente, por cargas de alvenaria transferidas diretamente às lajes. Já as cargas variáveis são decorrentes do uso e ocupação do pavimento, sendo constituídas por cargas móveis, como mobiliário, equipamentos e pessoas. A ABNT NBR 6120 (2019), estabelece as ações mínimas a serem consideradas no projeto de estruturas de edificações.

4.2.1 Pré-dimensionamento de lajes maciças

Segundo Bastos (2021), existem vários métodos para estimar a altura **h** de uma laje, sendo que um dos mais usuais é o que considera a altura útil **d** da seção transversal, que é a distância entre o centro de gravidade da armadura tracionada e a borda comprimida da seção, conforme Figura 5.

Figura 5 - Altura útil **d** para armadura de flexão positiva em laje maciça.



Fonte: Bastos (2021)

Ainda, segundo Bastos (2021), a altura útil **d** pode ser determinada de acordo com a seguinte expressão:

$$d \cong (2,5 - 0,1n)l^* \quad (4)$$

Onde:

d = altura útil da seção (cm);

n = número de bordas engastadas da laje;

l* = dimensão da laje em metros, sendo:

$$l^* \leq \begin{cases} l_x \\ 0,7l_y \end{cases} \quad (5)$$

com $l_x \leq l_y$ e l^*, l_x e l_y em metro.

A partir da altura útil **d** definida de acordo com a Equação 3, e considerando a armadura disposta em apenas uma camada, a altura **h** pode ser calculada de acordo com a seguinte equação:

$$h = d + \frac{\phi_l}{2} + c \quad (6)$$

Onde:

ϕ_l = diâmetro da armadura longitudinal (cm);

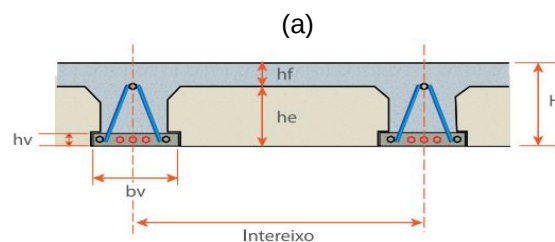
c = cobrimento (cm).

O diâmetro ϕ_l da barra longitudinal também deve ser estimado, uma vez que este ainda não é conhecido no início do processo de cálculo. Como o diâmetro da armadura longitudinal varia, frequentemente, de 5 a 10 mm, pode-se estima-lo como sendo de 10 mm.

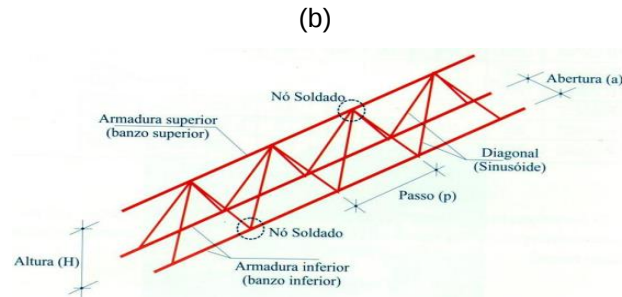
4.3 LAJE PRÉ-MOLDADA COM VIGOTAS TRELIÇADAS

A laje pré-moldada unidirecional é definida pela ABNT NBR 14859-1 (2002), como sendo uma laje nervurada composta por nervuras principais longitudinais (NL), distribuídas em uma única direção, podendo ser empregadas algumas nervuras transversais (NT) perpendiculares às nervuras principais. Ainda, conforme a alínea c, do item 3.1.1 da referida norma, as vigotas treliçadas (VT) são constituídas por uma seção de concreto formando uma placa, com armadura treliçada, parcialmente englobada pelo concreto da vigota. Quando necessário, deverá ser complementada com armadura passiva inferior de tração, totalmente englobada pelo concreto da nervura. A armadura da vigota treliçada é constituída de uma treliça espacial de aço com três banzos paralelos e diagonais laterais de forma senoidal, soldadas aos banzos por meio de processo eletrônico (CARVALHO; FIGUEIREDO FILHO, 2014). A Figura 06 apresenta a seção transversal e a treliça espacial da laje formada por vigotas treliçadas.

Figura 6 – Laje pré-fabricada com vigotas treliçadas (VT): (a) Seção Transversal; (b) Treliça Espacial.



Fonte: (ArcelorMittal, 2010)



Fonte: (BASTOS, 2015)

O dimensionamento à flexão normal simples de lajes de concreto armado segue o mesmo princípio do dimensionamento de vigas. A armadura longitudinal deve ser distribuída pelas pré-lajes, sendo que pelo menos 50% da seção da armadura deverá ser mantida até os apoios, de acordo com o disposto na ABNT NBR 6118 (2014).

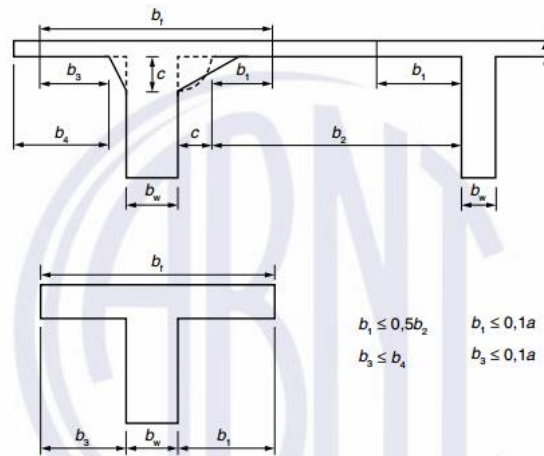
4.3.1 Largura colaborante de vigas de seção T

A largura colaborante b_f deve ser dada pela largura da viga b_w acrescida de no máximo 10% da distância a entre pontos os pontos de momento fletor nulo, para cada lado da viga em que haja laje colaborante. A distância a pode ser estimada, em função do comprimento l do tramo considerado, como a seguir:

- viga simplesmente apoiada: $a = 1,00 l$;
- tramo com momento em uma só extremidade: $a = 0,75 l$;
- tramo com momento nas duas extremidades: $a = 0,60 l$;
- tramo em balanço: $a = 2,00 l$.

Em se tratando de vigas contínuas, a ABNT NBR 6118 (2014) permite o cálculo com largura colaborante única para todas as seções, inclusive nos apoios sob momentos negativos, desde que essa largura seja calculada a partir do trecho de momentos positivos onde a largura resulte mínima.

Os limites b_1 e b_3 devem ser respeitados, conforme indicado na Figura 07.

Figura 7 – Largura de mesa colaborante

Fonte: (ABNT NBR 6118, 2014).

4.3.2 Momento fletor atuante em uma nervura simplesmente apoiada

Carvalho e Figueiredo Filho (2014), recomendam que o momento fletor máximo de uma nervura de laje pré-moldada simplesmente apoiada, seja calculado, a favor da segurança, como o de um elemento isolado, sendo dado por:

$$M_{m\acute{a}x} = \frac{p \cdot l^2}{8} \quad (7)$$

Onde:

p: carga atuante na nervura;

l: vão.

As cargas permanentes e variáveis, devidamente combinadas e majoradas, de acordo com o disposto na ABNT NBR 6118 (2014), devem ser distribuídas linearmente em cada nervura, de acordo com a sua área de influência (intereixo), para o cálculo do momento fletor máximo empregado no dimensionamento da armadura longitudinal. De modo geral, como o espaçamento entre as nervuras não é variável, a área de influência é a mesma, sendo necessário realizar o cálculo de apenas uma nervura.

4.4 ANÁLISE ESTRUTURAL

De acordo com o item 14.2.1 da NBR 6118 (ABNT, 2014), a análise estrutural tem como objetivo determinar os esforços atuantes na estrutura, estabelecendo a distribuição de esforços internos, tensões, deformações e deslocamentos, em uma parte ou em toda a estrutura. A referida norma contempla, no item 14.5, para a

situação de projeto, cinco modelos de análise estrutural: análise linear, análise linear com redistribuição, análise plástica, análise não linear e análise através de modelos físicos, os quais se distinguem pelo “[...] comportamento admitido para os materiais constituintes da estrutura [...]”.

Na análise linear, supõe-se que os materiais possuam comportamento elástico-linear. O método elástico, segundo Carvalho e Figueiredo Filho (2014), se baseia na teoria das placas delgadas ou teoria de Kirchhoff, na qual, considera-se que as placas são constituídas de material homogêneo, elástico, isotrópico, linear fisicamente e apresenta pequenos deslocamentos.

Na análise linear com redistribuição, considera-se a variação da rigidez dos elementos estruturais. Após a análise linear da estrutura, realiza-se a distribuição dos esforços calculados. No Estádio II, despreza-se a resistência à tração do concreto, pois ele se encontra fissurado. A fissuração de determinadas seções transversais promove uma redistribuição de tensões para regiões de maior rigidez (FONTES; PINHEIRO, 2009).

A análise plástica, segundo Guessi (2017), consiste numa análise estrutural na qual as não linearidades dos materiais podem ser consideradas, supondo que estes apresentam o comportamento rígido-plástico perfeito ou elasto-plástico perfeito. De acordo com a ABNT NBR 6118 (2014), a análise plástica só deve ser empregadas para verificações no ELU.

Com relação à análise não linear, o comportamento não linear geométrico dos materiais é admitido. Para tanto, é necessário que toda a geometria da estrutura e todas as suas armaduras sejam conhecidas, uma vez que, segundo a ABNT NBR 6118 (2014), “a resposta da estrutura depende de como ela foi armada”. Além disso, as condições de ductilidade, compatibilidade e equilíbrio devem ser atendidas. A análise não linear pode ser empregada tanto nas verificações do estado limite último quanto no estado limite de serviço, sendo, em geral, realizada via modelagem computacional com a utilização de métodos numéricos.

Já na análise através de modelos físicos, de acordo com a ABNT NBR 6118 (2014), “o comportamento estrutural é determinado a partir de ensaios realizados com modelos físicos de concreto, considerando os critérios de semelhança mecânica”.

Em consonância com os referidos modelos de análise estrutural, existem diferentes métodos de dimensionamento disponíveis na literatura sobre o tema, entre

eles a teoria das grelhas, a teoria das linhas de ruptura, a teoria de flexão das placas, a analogia da grelha equivalente, o método das diferenças finitas e o método dos elementos finitos (GONTIJO, 2015).

4.4.1 Teoria de flexão das placas

A teoria de flexão das placas, que se fundamenta nos princípios da teoria da elasticidade, admitindo que os materiais tenham um comportamento elástico linear, é uma das mais consagradas e amplamente difundidas na literatura, enquanto método de dimensionamento de lajes. Segundo Bastos (2021), a teoria das placas “[...] proporciona a equação geral das placas (equação diferencial de quarta ordem, não homogênea), obtida por Lagrange em 1811, que relaciona a deformada elástica w da placa com a carga p unitária, uniformemente distribuída na área da placa.” A equação possui a seguinte forma:

$$\frac{\partial^4 w}{\partial^4 x} + 2 \frac{\partial^4 w}{\partial x^2 \partial y^2} + \frac{\partial^4 w}{\partial^4 y} = \frac{p}{D} \quad (8)$$

Onde:

w : deslocamento vertical da placa;

p : carregamento da placa;

D : rigidez da placa à flexão, dada por:

$$D = \frac{E h^3}{12(1 - \nu^2)} \quad (9)$$

A complexidade da solução da equação geral das placas motivou o surgimento de diversas tabelas que fornecem coeficientes para o cálculo dos momentos fletores e das flechas para diferentes condições de apoio e carregamentos. Autores como Czerny, Stiglat/Wippel, Barés e Szilard desenvolveram tabelas que, de modo geral, contemplam as lajes retangulares, triangulares, circulares, apoiadas em pilares, com bordas livres, etc, submetidas a carregamento uniforme e triangular. (BASTOS, 2021).

No cálculo dos esforços e deformações com o emprego de tabelas, cada laje é tratada de forma isolada, de acordo com os vínculos com as lajes adjacentes, sendo que em lajes contínuas apoiadas em vigas, deve-se adotar critérios para a

correção dos esforços devido à continuidade, como a compatibilização dos momentos fletores negativos. De modo geral, se considera as lajes menores engastadas nas lajes maiores, já que estas últimas apresentam maior rigidez. Embora bastante prático e simples, o dimensionamento apresenta algumas limitações, pois segundo Gontijo (2015), “No caso do apoio em vigas, as mesmas são consideradas rígidas [ind deslocáveis], o que, em alguns casos, pode resultar em grandes diferenças nos valores dos esforços e nos deslocamentos verticais”.

As tabelas desenvolvidas por Barés, e adaptadas por Pinheiro (1994), fornecem os valores dos coeficientes adimensionais para o cálculo dos momentos fletores de lajes armadas em duas direções, de acordo com os casos de vinculação nas bordas apresentados na Figura 3. Os momentos fletores máximos podem ser obtidos de acordo com a seguinte expressão:

$$M = \mu \cdot \frac{p \cdot l_x^2}{100} \quad (10)$$

Onde:

M = momento fletor (KN.m/m);

μ = coeficiente tabelado, em função de cada tipo de laje e de $\lambda = l_y / l_x$, sendo:

μ_x e μ_y = coeficientes para cálculo dos momentos fletores positivos atuantes nas direções paralelas a l_x e l_y , respectivamente;

μ'_x e μ'_y = coeficiente para cálculo dos momentos fletores negativos atuantes nas bordas perpendiculares às direções l_x e l_y , respectivamente;

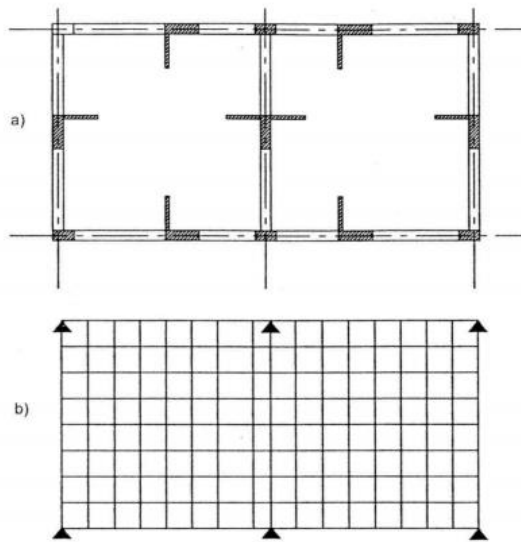
l_x = menor vão da laje (m).

4.4.2 Métodos numéricos computacionais

Entre os métodos numéricos mais utilizados atualmente por diversos programas computacionais, destacam-se a analogia da grelha equivalente e o método dos elementos finitos. Tais métodos permitem a consideração da não linearidade física e geométrica dos materiais, fornecendo resultados mais próximos do comportamento real da estrutura.

O processo da grelha equivalente consiste, basicamente, em substituir a laje por uma malha equivalente de vigas. Segundo Reis (2007), a “analogia de grelha consiste em representar a laje, [...], através de barras perpendiculares entre si, ligadas em nós”. A Figura 08 ilustra o processo da grelha equivalente.

Figura 8 – Processo da grelha equivalente: (a) Planta de formas de um pavimento com lajes e vigas; (b) Grelha equivalente representando o pavimento.



Fonte: (CARVALHO; FIGUEIREDO., 2014)

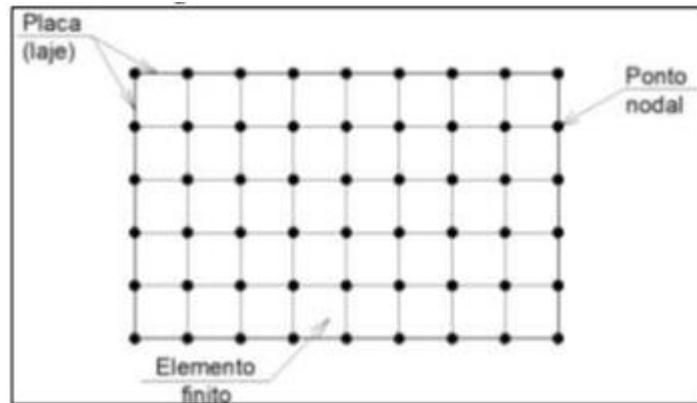
No cálculo dos esforços solicitantes, empregam-se os métodos consagrados na estática das estruturas, como o Método dos Deslocamentos. Com este método é possível calcular estruturas por meio de análise matricial, devido ao seu bom desempenho para a programação (REIS, 2007).

Na determinação dos esforços solicitantes por meio da analogia da grelha equivalente, segundo Carvalho e Figueiredo Filho (2014, p. 399),

[...] admite-se que as cargas distribuídas se dividem entre as barras da grelha de acordo com a sua área de influência; as cargas podem ser consideradas uniformemente distribuídas ao longo das barras ou concentradas nos nós.

Já o método dos elementos finitos consiste na divisão ou discretização da estrutura em partes finitas, que são interligadas por nós, formando uma malha. Na medida em se aumenta o número de elementos da malha, o que implica em dividi-la em partes cada vez menores, aumenta-se também o tempo de processamento da solução iterativa do sistema de equações lineares, porém com a convergência para valores mais precisos. A Figura 09 ilustra a malha de elementos finitos e os respectivos pontos nodais.

Figura 9 – Malha de elementos finitos.



Fonte: (WERNER; VARGAS, 2013)

O método dos elementos finitos possibilita uma análise integrada da estrutura, com todos os elementos estruturais (vigas, lajes e pilares) trabalhando em conjunto, o que permite considerar a deslocabilidade dos elementos de apoio das lajes, os quais podem ser rotulados, engastados ou semi-engastados. Ao se considerar que os apoios são deslocáveis e, portanto, flexíveis, é possível simular a deformação do pavimento de forma mais realista.

O Método dos Elementos Finitos (MEF) é um modelo matemático de extrema complexidade, com base em métodos matriciais de rigidez e equações lineares, que analisam a estrutura detalhadamente, sendo necessário o auxílio de um sistema computacional para efetuar a grande quantidade de cálculos necessários para chegar a um resultado preciso, que se aproxima da realidade da estrutura. (WENER; VARGAS, 2013, p. 10).

4.5 DIMENSIONAMENTO E VERIFICAÇÕES

4.5.1 Dimensionamento à flexão normal simples

A dedução das equações para o dimensionamento de seções sob flexão simples se dá pelo equilíbrio das forças atuantes na seção transversal. Para conhecer o domínio de deformação em que o elemento está trabalhando, determina-se a posição da linha neutra, de acordo com a seguinte equação:

$$x = 1,25 \cdot d \left[1 - \sqrt{1 - \frac{Md}{0,425 \cdot b_f \cdot d^2 \cdot f_{cd}}} \right] \quad (11)$$

Como se observa na equação acima, o cálculo da posição da linha neutra é realizado, inicialmente, com a largura da mesa comprimida b_f . Se $0,8x$ resultar menor do que a altura da mesa colaborante h_f , significa que a linha neutra passa pela mesa, e a armadura longitudinal da nervura é calculada considerando-se uma viga de seção retangular, de acordo com a seguinte equação:

$$A_s = \frac{M_d}{z \cdot f_{yd}} \quad (12)$$

Onde:

M_d : momento solicitante de cálculo;

z : braço de alavança;

f_{yd} : tensão de escoamento do aço;

Por outro lado, se $0,8x > h_f$, significa que a linha neutra passa pela alma da seção, e a viga é calculada como sendo de seção T, e a sua armadura é calculada de acordo com a seguinte expressão:

$$A_s = \frac{M_1}{\left(d - \frac{h_f}{2}\right) \cdot f_{yd}} + \frac{M_2}{f_{yd} \cdot (d - 0,4 \cdot x)} \quad (13)$$

Onde:

M_1 é o momento resistido pelas abas (mesa), calculado por:

$$M_1 = 0,85 f_{cd} \cdot h_f \cdot (b_f - b_w) \cdot \left(d - \frac{h_f}{2}\right) \quad (14)$$

M_2 é o momento resistido pela nervura (alma), calculado por:

$$M_2 = M_d - M_1 \quad (15)$$

4.5.2 Verificação ao cisalhamento

A verificação ao cisalhamento em lajes pode ser feita de maneira análoga às vigas, já que as nervuras são, na realidade vigas simplesmente apoiadas ou contínuas. Devido à dificuldade de execução de armadura transversal em elementos de altura reduzida, seu emprego em lajes de concreto armado não é usual. Em se tratando de lajes treliçadas, embora as diagonais laterais da treliça possam contribuir

com a resistência ao cisalhamento, não é de praxe contar com essa contribuição. (CARVALHO; FIGUEIREDO, 2014).

Assim, é possível dispensar o emprego de armadura transversal, verificando somente a tração diagonal sob flexão e cisalhamento e o esmagamento do concreto das bielas comprimidas. De acordo com o item 13.2.4.2 da ABNT NBR 6118 (2014), para lajes nervuradas com espaçamento entre eixos de nervuras menor ou igual a 65 cm, permite-se a consideração dos critérios de laje para verificação ao cisalhamento. Caso contrário, o critério a ser empregado é o de vigas. Ainda de acordo com item 13.2.4.2 da referida norma, permite-se essa verificação como lajes se o espaçamento entre eixos de nervuras for até 90 cm e a largura média das nervuras for maior que 12 cm.

De acordo com item 19.4.1 da ABNT NBR 6118 (2014), as lajes podem dispensar o uso de armadura transversal para resistir aos esforços de tração devidos à força cortante, se a força cortante solicitante de cálculo (V_{sd}), a uma distância d da face do apoio, for menor ou igual a resistência de projeto ao cisalhamento (V_{Rd1}), calculada de acordo com a seguinte expressão:

$$V_{Rd1} = [\tau_{Rd} \cdot k \cdot (1,2 + 40 \cdot \rho_1)] \cdot b_w \cdot d \quad (16)$$

Onde:

$\tau_{Rd} = 0,25 \cdot f_{ctd} = 0,25 \cdot \frac{f_{ctk,inf}}{\gamma_c}$ é a tensão resistente de cálculo ao cisalhamento;

$$\rho_1 = \frac{A_{s1}}{b_w \cdot d} \leq 0,02$$

A_{s1} é a armadura longitudinal total de todas as nervuras existentes no trecho considerado;

d é a altura útil das nervuras;

b_w é a soma das larguras de todas nervuras no trecho considerado;

k é um coeficiente que apresenta os seguintes valores:

- para elementos em que 50% da armadura inferior não chegam até o apoio: $k = 1,0$;
- para os demais casos: $k = 1,6 - d$, não menor que 1, com d em metros.

4.5.3 Cálculo das deformações

A ABNT NBR 6118 (2014) define, no item 3.2.4, o “Estado-Limite de Deformações Excessivas” (ELS-DEF) como o “estado em que as deformações atingem os limites estabelecido para a utilização normal dados em 13.3”. A referida norma recomenda, ainda, no item 19.3.1, que sejam adotadas as prescrições contidas no item 17.3.2, que tratam dos deslocamentos nas vigas de concreto armado, o que significa dizer que a norma sugere que as flechas nas lajes sejam verificadas do mesmo modo como nas vigas. Nas lajes maciças, considera-se uma faixa com largura de 1,0 metro.

Trata-se de uma verificação de fundamental importância, que visa garantir o funcionamento adequado da estrutura na situação de serviço, de modo a prevenir efeitos indesejáveis que causem desconforto e insegurança nos usuários da edificação. Sobretudo no projeto de lajes pré-moldadas unidirecionais, como a rigidez na direção transversal às nervuras é menor, tais lajes tendem a apresentar maiores valores de deformação. Carvalho e Figueiredo Filho (2014), sugerem que, a favor da segurança, o cálculo das flechas seja feito considerando-se as nervuras isoladamente, ou seja, como vigas, representando o comportamento de um elemento isolado.

Para o cálculo e verificação das flechas é necessário determinar o Estádio de deformação do elemento considerado. De acordo com item 17.3.1 da ABNT NBR 6118 (2014), “Nos estados-limites de serviço as estruturas trabalham parcialmente no Estádio I e parcialmente no estágio II. A separação entre esses dois comportamentos é definida pelo momento de fissuração”, que pode ser calculado pela seguinte expressão:

$$M_r = \frac{\alpha \cdot f_{ct} \cdot I_c}{Y_t} \quad (17)$$

sendo:

$\alpha = 1,2$ para seções T ou duplo T;

$\alpha = 1,3$ para seções I ou T invertido;

$\alpha = 1,5$ para seções retangulares.

onde:

α é o fator que correlaciona aproximadamente a resistência à tração na flexão com a resistência à tração direta;

y_t é a distância do centro de gravidade da seção à fibra mais tracionada;

I_c é o momento de inércia da seção bruta de concreto;

f_{ct} é a resistência à tração direta do concreto, conforme 8.2.5, com o quantil apropriado a cada verificação particular. Para determinação do momento de fissuração, deve ser usado o $f_{ct,inf}$ no estado-limite de formação de fissuras e o $f_{ct,m}$ no estado-limite de deformação excessiva (ver 8.2.5).

O efeito da fissuração pode ser estimado a partir de uma inércia média I_m , uma vez que a viga possui seções fissuradas e não fissuradas. O efeito da fluência do concreto, que consiste na deformação ao longo do tempo sob ações permanentes, também deve ser levado em consideração na avaliação da flecha final, de acordo com a ABNT NBR 6118 (2014).

A flecha imediata em nervuras simplesmente apoiadas nas extremidades, sem considerar os efeitos da fluência do concreto, pode ser calculada de acordo com a seguinte expressão:

$$a = \frac{5 \cdot p \cdot l^2}{384 \cdot E_c \cdot I_m} \quad (18)$$

Onde:

p – carga atuante na nervura;

l – vão do tramo;

E_c – módulo de elasticidade do concreto; e

I_m – Inércia Média.

Segundo o item 17.3.2.1.2 da NBR 6118 (2014), o efeito da fluência do concreto, que consiste na deformação ao longo do tempo sob ações permanentes, também deve ser considerado na avaliação da flecha final. Esta flecha adicional diferida no tempo, pode ser estimada de forma aproximada multiplicando-se a flecha imediata pelo fator α_f , dado pela seguinte equação:

$$\alpha_f = \frac{\Delta \xi}{1 + 50\rho'} \quad (19)$$

Onde:

$$\rho' = \frac{A_s'}{b \cdot d}$$

ξ – coeficiente em função do tempo, que pode ser consultado na Figura 10 ou calculado de acordo as seguintes equações:

$$\Delta\xi = \xi(t) - \xi(t_0)$$

$$\xi(t) = 0,68 \cdot (0,996^t) \cdot t^{0,32} \text{ para } t \leq 70 \text{ meses}$$

$$\xi(t) = 2 \text{ para } t > 70 \text{ meses}$$

Figura 10 – Valores do coeficiente ξ em função do tempo

Tempo (t) meses	0	0,5	1	2	3	4	5	10	20	40	≥ 70
Coeficiente $\xi(t)$	0	0,54	0,68	0,84	0,95	1,04	1,12	1,36	1,64	1,89	2

Fonte: (ABNT NBR 6118, 2014)

Sendo:

t – o tempo em meses, quando se deseja o valor da flecha diferida;

t_0 – a idade, em meses, relativa à aplicação da carga de longa duração. No caso, de parcelas de carga de longa duração serem aplicadas em idades diferentes, pode-se tomar para t_0 o valor ponderado a seguir:

$$t_0 = \frac{\sum P_i \cdot t_{0i}}{\sum P_i} \quad (20)$$

Onde:

P_i representa as parcelas de carga;

t_{0i} é a idade em que se aplicou cada parcela P_i , expressa em meses.

O valor da flecha total é obtido multiplicando-se o valor da flecha imediata por:

$$(1 + \alpha_f)$$

4.6 ORÇAMENTO DE OBRAS

Segundo Mattos (2006), “orçar não é um mero exercício de futurologia ou jogo de adivinhação”. O orçamento é o produto do processo de orçamentação, que consiste na identificação, descrição, quantificação, análise e valorização de uma grande série de itens.

Segundo a ABNT NBR 12.721 (2006), o orçamento é o “[...] documento onde se registram as operações de cálculo de custo da construção, somando todas as despesas correspondentes à execução de todos os serviços [...]”.

Na determinação do orçamento, são somados os custos diretos, os quais envolvem a mão-de-obra dos operários, os materiais e equipamentos, e os custos indiretos, correspondentes às despesas gerais do canteiro de obras, taxas e equipes de supervisão e apoio. A estes custos, ainda devem ser adicionados impostos e lucros para a determinação do preço de venda.

Sendo o orçamento o resultado do processo de orçamentação, o mesmo envolve três grandes etapas de trabalho, sendo elas: o estudo das condicionantes (condições de contorno), composição de custos e determinação do preço (MATTOS, 2006). O estudo das condições de contorno consiste:

- na leitura e interpretação dos projetos e especificações técnicas, uma vez que através deles são identificados os serviços necessários à execução da obra, as quantidades de insumos, as interferências entre eles e as dificuldades inerentes à realização das tarefas;
- na leitura e interpretação do edital de licitação, quando a obra é objeto de concorrência;
- na visita técnica, que é fundamental para o levantamento de dados, tais como avaliar as condições das vias de acesso, a disponibilidade de materiais, equipamentos e mão-de-obra na região.

Já a composição de custos consiste:

- na identificação dos serviços, que permite quantificar os insumos necessários à execução da obra; no levantamento de quantitativos, cujos cálculos são baseados nas dimensões dos elementos constantes dos projetos, tais como kg de aço, volume de concreto etc;
- na determinação dos custos diretos, a partir da identificação e quantificação dos serviços de campo, podendo a composição de custos ser unitária ou dada como verba; na composição de custos unitários estão presentes os índices, que são as quantidades de cada insumo necessárias à execução de uma unidade de serviço, e o valor dos insumos, provenientes das cotações de preços e da aplicação dos encargos trabalhistas;
- na determinação dos custos indiretos, nos quais estão inclusas despesas com a equipe técnica, de apoio e de suporte, despesas gerais de obra (contas de água e energia elétrica, materiais de limpeza e de escritório etc), mobilização e desmobilização do canteiro de obras, taxas e emolumentos;

- na cotação de preços, que envolve pesquisas e coleta de preços de mercado, para cada insumo da obra;
- na definição dos encargos sociais e trabalhistas, relativos aos impostos que recaem sobre a hora de trabalho e os benefícios pagos pelo empregador aos trabalhadores.

Segundo Mattos (2006), “[...] antes mesmo do desenvolvimento detalhado do projeto executivo já há uma preocupação do gestor em ter uma noção do custo total do empreendimento.” É bastante compressível que exista tal preocupação, uma vez que é a partir de uma análise prévia que o gestor irá decidir pelo prosseguimento ou não do empreendimento, caso não disponha de recursos suficientes para a sua realização, ou até mesmo reduzir ou aumentar o seu escopo, sendo a estimativa preliminar o primeiro passo para o estudo de viabilidade. Existem, entretanto, diferentes graus de detalhe do orçamento, sendo eles: a estimativa de custos, o orçamento preliminar e o orçamento analítico.

4.6.1 Estimativa de custos

A estimativa é uma previsão de quanto irá custar a obra, feita com base em projetos anteriores realizados pela empresa, assim como por indicadores genéricos. Por meio desse cálculo, é possível avaliar a viabilidade econômica da obra e sua rentabilidade. Trata-se, porém, de apenas uma previsão, sendo que na maioria dos casos o valor final do projeto ultrapassa a estimativa. De acordo com Mattos (2006), a estimativa de custos “dá uma ordem de grandeza do custo do empreendimento.

Um dos indicadores mais utilizados para estimar o custo por metro quadrado de construção é o Custo Unitário Básico (CUB), instituído através da Lei Federal 4.591/64 e calculado mensalmente pelos Sindicatos da Indústria da Construção Civil (SINDUSCON) de todo o país, com base nos coeficientes constantes da ABNT NBR 12.721 (2006) e nos preços unitários dos insumos coletados mensalmente junto às construtoras. Outro indicador, que serve como referência paralela ao CUB, é o Custo Unitário PINI de Edificações que, por possuir metodologia própria de cálculo e ter um projeto padrão distinto ao do CUB, fornece, evidentemente, valores diferentes, porém não muito discrepantes.

4.6.2 Orçamento preliminar

Trata-se de um orçamento mais detalhado do que a estimativa de custos, requerendo a quantificação e a pesquisa de preços dos principais insumos e serviços, razão pela qual seu grau de incerteza é menor (MATTOS, 2006).

Geralmente feito após a elaboração do anteprojeto e antes do desenvolvimento dos projetos básicos, existem, no orçamento preliminar, alguns indicadores úteis para levantamento expedito dos itens mais onerosos à execução, como o concreto o aço e as fôrmas. O volume de concreto pode ser estimado a partir da espessura média, ou seja, a espessura que uma camada de concreto teria se o concreto fosse dos pilares, vigas, lajes e escadas de cada pavimento fosse distribuído uniformemente pela área do pavimento. A Figura 11 apresenta o indicador para o cálculo do volume de concreto necessário à execução da superestrutura.

Figura 11 - Indicador para o cálculo de volume de concreto da superestrutura

Indicador: espessura média		
Estrutura abaixo de 10 pavimentos	———▶	entre 12 e 16 cm
Estrutura acima de 10 pavimentos	———▶	entre 16 e 20 cm

Volume de concreto = área construída x espessura média	
---	--

Fonte: (Mattos, 2006, adaptada pelo autor).

Já o peso das armaduras é estimado a partir do consumo de aço por metro cúbico de concreto. Embora, em função de solicitações distintas, os elementos estruturais (vigas, pilares e lajes) sejam armados com diferentes densidades de aço, em construções prediais a taxa média de aço se mantém dentro de uma faixa. A Figura 12 apresenta o indicador para o cálculo do peso da armação.

Figura 12 - Indicador para o cálculo do peso da armação.

Indicador: taxa de aço.		
Em função do volume de concreto:		
Estrutura abaixo de 10 pavimentos	———▶	entre 83 e 88 kg por m ³ de concreto
Estrutura acima de 10 pavimentos	———▶	entre 88 e 100 kg por m ³ de concreto

Peso da armação = volume de concreto x taxa de aço	
---	--

Fonte: (Mattos, 2006, adaptada pelo autor).

A estimativa da área de fôrmas é feita a partir da taxa de forma, como pode ser observado na Figura 13.

Figura 13 - Indicador para o cálculo da área de fôrmas.

Indicador: **taxa de fôrma**

Em função do volume de concreto:

Entre 12 e 14 m² por m³ de concreto

Área de fôrma = volume de concreto x taxa de fôrma

Fonte: (Mattos, 2006, adaptada pelo autor).

4.6.3 Orçamento analítico: SINAPI

Segundo Mattos (2006), o “orçamento analítico constitui a maneira mais detalhada e precisa de se prever o custo da obra”. É feito a partir de composições de custos unitários para os serviços de cada etapa da obra, levando em consideração todos os insumos necessários à execução. A elaboração do orçamento requer que todos os projetos básicos estejam prontos, pois os quantitativos adotados na planilha devem ser obtidos a partir desses projetos com a maior precisão possível.

O Sistema Nacional de Pesquisas de Custos e Índices da Construção Civil (SINAPI), mantido pela Caixa Econômica Federal, é uma ferramenta que define os valores dos insumos e serviços necessários às obras de engenharia. A Caixa Econômica Federal, atendendo ao disposto no Decreto 7983/2013 e na Lei 13.303/2016, disponibiliza, por meio da SINAPI, relatórios com referência de preço dos insumos e de custos de composições de serviços.

As atribuições da Caixa Econômica Federal, estabelecidas no Decreto 7983/2013, são a formação e manutenção de toda a base técnica de engenharia, o processamento de dados e publicação dos relatórios de preços e custos. Ao Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), compete a realização da pesquisa de preço, tratamento dos dados, formação e divulgação dos índices.

Os preços dos insumos consideram custos com os Encargos Sociais Desonerado e Não Desonerado, cujo percentual adotado consta no cabeçalho de cada relatório. Os orçamentos não desonerados possuem encargos sociais relativos a contribuição de 20% do INSS sobre a folha de pagamento. Com relação aos orçamentos desonerados, a contribuição previdenciária é de 1% a 2% sobre a receita

bruta da empresa. Com o objetivo de impulsionar o desenvolvimento industrial do país, o governo permite a desoneração da folha de pagamento, ou seja, a empresa pode retirar o desconto de 20% do salário dos empregados que seria para pagar as contribuições previdenciárias e, em troca, recolher cerca de 1%-2% sobre sua receita bruta.

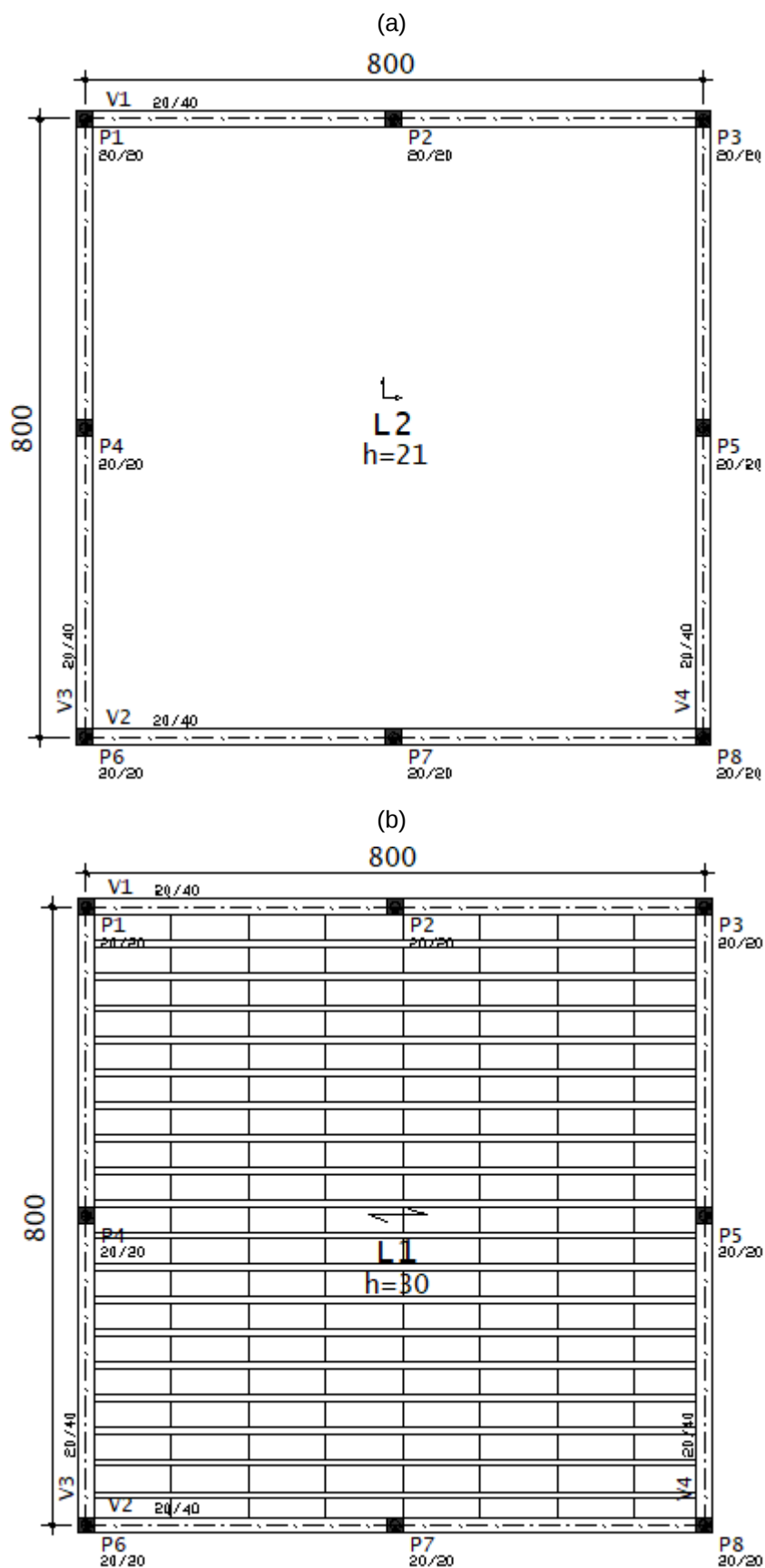
5 METODOLOGIA

A metodologia empregada no desenvolvimento deste trabalho é a pesquisa exploratória, que consiste numa revisão bibliográfica sobre os principais conceitos inerentes ao processo de dimensionamento das lajes maciças e lajes pré-moldadas com vigotas treliçadas, bem como dos princípios básicos do orçamento de obras.

A análise comparativa de custos entre os sistemas de lajes estudados foi realizada com base no Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil – SINAPI (Tabela Desonerada). A composição de custos lista todos os insumos que entram na execução do serviço, com suas respectivas quantidades, seus custos unitários e totais. As categorias de custos envolvidas em um serviço são, tipicamente, mão-de-obra, material e equipamento. Para efeito de comparação, foi realizada uma composição de custos por meio de planilha eletrônica, com a descrição do serviço, unidades de medida, quantidades, preço unitário e total de cada insumo e custo total das lajes do pavimento estudado, para cada um dos sistemas de lajes propostos.

Primeiramente, realizou-se um estudo de um conjunto de lajes isoladas com diferentes vãos de cálculo, cujas dimensões variaram no intervalo de 3m x 3m até 8m x 8m, a fim de se verificar qual sistema de lajes, maciça ou treliçada, apresenta menor custo com o aumento progressivo dos vãos, considerando-se um único pavimento do tipo comercial, com carga variável de 3,0 kN/m² e sobrecarga permanente de 1,0 kN/m². A Figura 14 apresenta as plantas de fôrmas da laje de 8m x 8m, maciça e treliçada. Para a laje maciça adotou-se uma altura de 21 cm e para a laje treliçada uma treliça H25 e capa de compressão de 5 cm (25 + 5 = 30 cm), com intereixo de 42 cm e enchimento em EPS.

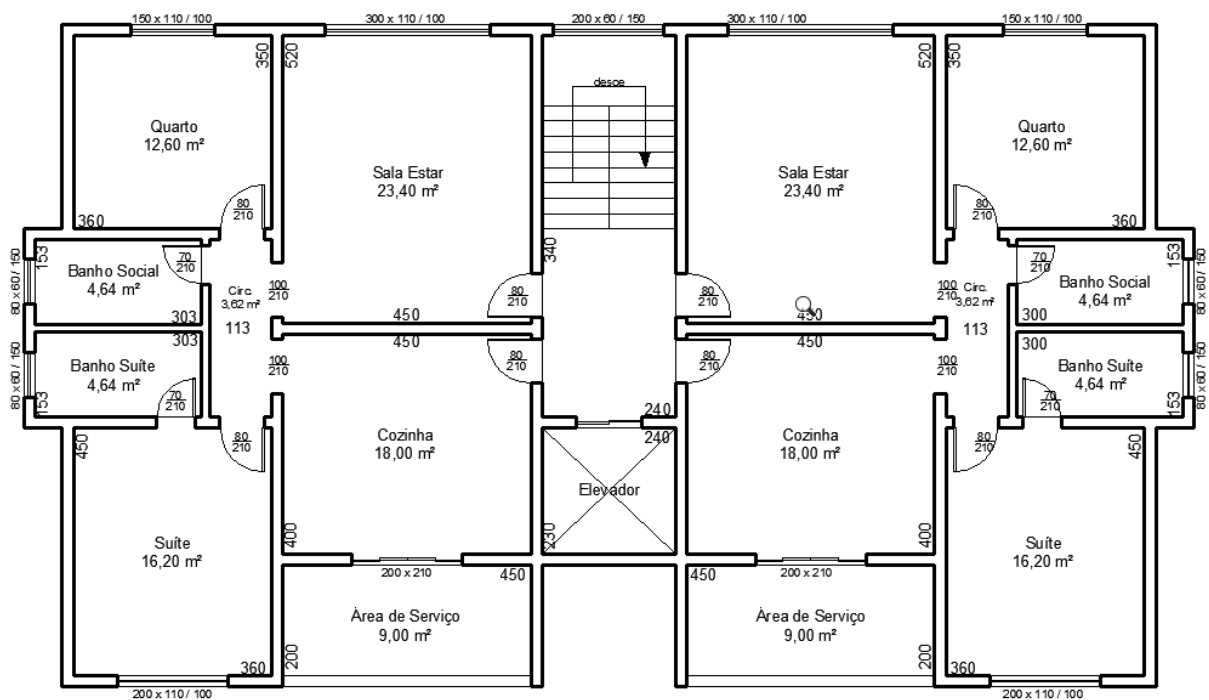
Figura 14 - Plantas de fôrmas: (a) laje maciça; (b) laje treliçada.



Fonte: TQS 22.12 – Estudante (2022).

Para a realização do estudo proposto desenvolveu-se, também, um modelo de projeto de residência multifamiliar, a partir do qual foram dimensionadas as seções transversais e a armaduras das lajes. O estudo comparativo de custos se deu com ambos os sistemas de lajes, compostos por 4 e 6 pavimentos, ou seja, comparou-se os custos das lajes maciças e das lajes treliçadas de uma edificação composta por 4 pavimentos e, da mesma forma, de uma edificação composta por 6 pavimentos. A Figura 15 apresenta a planta baixa do pavimento “tipo” estudado.

Figura 15 – Planta baixa do pavimento “tipo” estudado.



Fonte: o autor.

A superfície do pavimento “tipo” possui uma área total de 223,43 m², descontadas a caixa de escada e o fosso do elevador, totalizando 893,72 m² para o modelo com 4 pavimentos e 1.348,58 m² para o modelo com 6 pavimentos.

A resistência característica do concreto (f_{ck}) a ser adotada no desenvolvimento de projetos de estruturas de concreto armado, depende do meio no qual a edificação está inserida, conforme o item 7.4.2 da ABNT NBR 6118 (2014). Para o ambiente urbano, a referida norma estabelece a classe de agressividade ambiental II (agressividade moderada). Para tal classe, a resistência característica mínima a ser utilizada em projetos é de 25 MPa. No desenvolvimento deste trabalho adotou-se a classe de concreto C30, correspondente a um $f_{ck} = 30$ MPa, tendo em vista que o

item 7.4.7 da ABNT NBR 6118 (2014) permite uma redução de até 5,0 mm no cobrimento das armaduras caso se adote uma classe de resistência superior ao mínimo exigido. A adoção do concreto C30 permitiu, desta forma, reduzir o cobrimento mínimo de 25 mm para 20 mm.

Com relação às cargas atuantes na estrutura, foram adotados os seguintes valores, conforme critérios da ABNT NBR 6120 (2019):

- cargas permanentes (revestimento de pisos): $1,00 \text{ kN/m}^2$, para pisos com 5,0 cm de espessura e peso específico da argamassa $\gamma_{\text{ap-m}} = 20 \text{ kN/m}^3$;
- cargas variáveis: $1,50 \text{ kN/m}^2$ para salas, dormitórios, cozinhas e banheiros, e $2,00 \text{ kN/m}^2$ para áreas de serviço;
- cargas de paredes sobre as Lajes L5 e L6: $1,80 \text{ kN/m}^2$.

Para o dimensionamento dos sistemas de lajes propostos, utilizou-se o *software* TQS. Como a versão estudantil do programa permite o lançamento de no máximo 5 pavimentos, incluída a fundação, optou-se por modelar apenas 1 pavimento “tipo” para cada sistema de lajes e multiplicar os quantitativos dos insumos fornecidos pelo programa pela quantidade de pavimentos considerada em cada caso. Desta forma, não se considerou neste estudo os efeitos das ações horizontais (vento) e o comportamento das lajes como diafragma rígido na estabilidade da estrutura, inclusive porque o modelo de cálculo disponibilizado pela versão estudantil do TQS não realiza este tipo de análise.

O modelo de cálculo empregado no processamento dos pavimentos no *software* TQS é a analogia de grelha, cuja análise pode ser tanto linear quanto não-linear, a depender das configurações inseridas no programa. A fim de se obter um resultado mais fidedigno, ou seja, que simulasse o comportamento real da estrutura, sobretudo no que diz respeito às deformações (flechas), optou-se por processar os pavimentos através da Grelha Não-Linear, recomendação esta do próprio programa, tendo em vista que o concreto armado é um material heterogêneo e seus constituintes se comportam de maneira distinta ao longo do tempo.

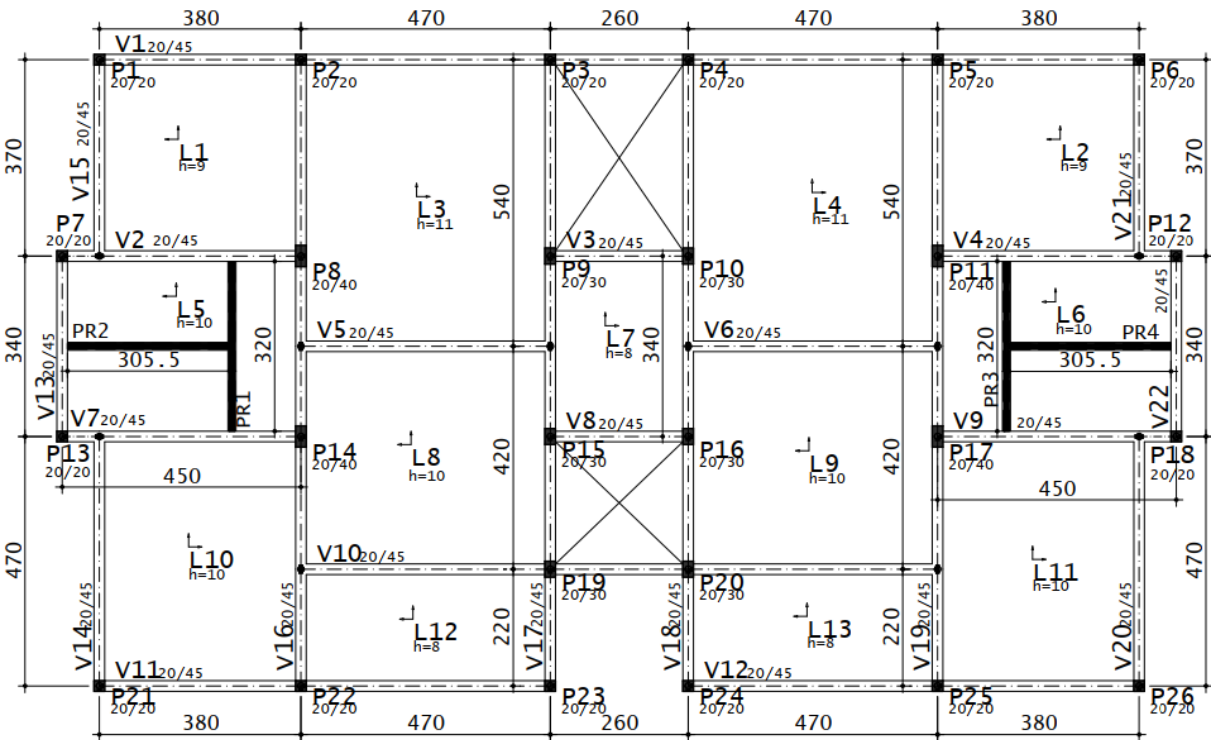
Além disso, como o TQS considera a deformação dos apoios (vigas) no dimensionamento das lajes, estas também foram dimensionadas, a fim de que suas armaduras fossem consideradas no cálculo das deformações. Os resultados do processamento das vigas, entretanto, não serão apresentados e discutidos neste trabalho.

6 PRÉ-DIMENSIONAMENTO DAS LAJES DO PAVIMENTO TIPO

6.1 LAJES MACIÇAS

A Figura 16 apresenta a planta de fôrmas do pavimento “tipo” modelado no TQS. Já a Tabela 1 apresenta a estimativa da altura das lajes maciças, de acordo com o procedimento demonstrado no Capítulo 4, item 4.2.1.

Figura 16 – Planta fôrmas do pavimento “tipo” constituído de lajes maciças.



Fonte: TQS 22.12 – Estudante (2022).

Tabela 1 – Pré-dimensionamento das lajes maciças.

Laje	l_x (m)	l_y (m)	λ	$0,7 l_y$ (cm)	l^* (m)	n	d (cm)	h (cm)	h_{adot} (cm)
L1-L2	3,70	3,80	1,03	2,66	2,66	2	6,12	8,62	9,00
L3-L4	4,70	5,40	1,15	3,78	3,78	2	8,69	11,19	11,00
L5-L6	3,40	4,50	1,32	3,15	3,15	3	6,93	9,43	10,00
L7	2,60	3,40	1,31	2,38	2,38	2	5,47	7,97	8,00
L8-L9	4,20	4,70	1,12	3,29	3,29	3	7,24	9,74	10,00
L10-L11	3,80	4,70	1,24	3,29	3,29	2	7,57	10,07	10,00
L12-L13	2,20	4,70	2,14	3,29	2,20	2	5,06	7,56	8,00

Fonte: elaborada pelo autor.

6.2 LAJES TRELIÇADAS

O pré-dimensionamento das lajes trelaçadas pré-moldadas se deu com base no procedimento sugerido por Carvalho e Figueiredo Filho (2014), que consiste em arbitrar valores de alturas para as lajes e calcular a armadura de flexão necessária para o estado limite último, realizando, também, as verificações para o estado de deformação excessiva. Caso o estado limite de serviço não seja atendido, deve-se aumentar a altura da laje ou a armadura longitudinal. Para uma estimativa inicial, Carvalho e Figueiredo Filho (2014) sugerem alguns valores de altura para as lajes, como apresentado na Tabela 2, onde p é a carga atuante sem o peso próprio (carga variável q mais carga sobrecarga permanente g_2).

Tabela 2 – Altura inicial de lajes pré-moldadas em função da carga e vão livres máximos.

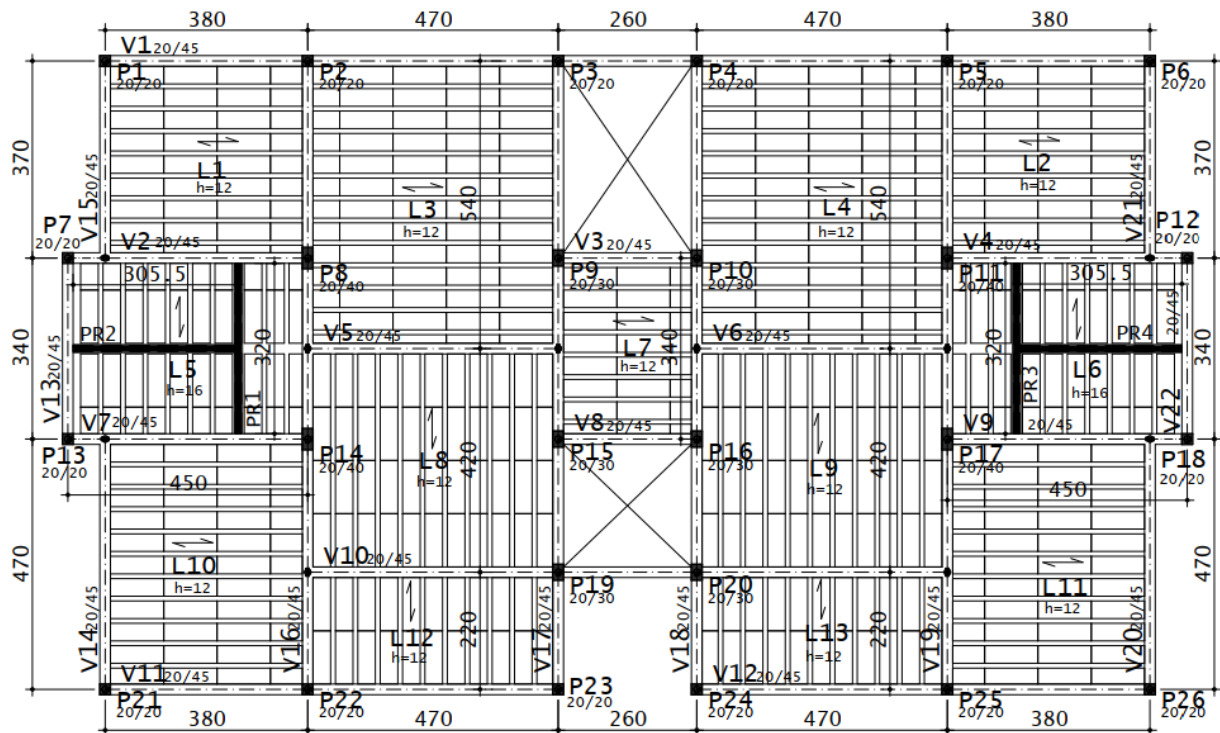
Altura total da laje (cm)	Peso próprio (kN/m ²)	$p < 1,0 \text{ kN/m}^2$ (forro)	$2,0 \text{ kN/m}^2 < p < 5,0 \text{ kN/m}^2$
10	1,10	3,5 m	-----
12	1,41	5,0 m	4,5 m
14	1,50	6,0 m	5,5 m
16 ou maior	> 1,61	-----	> 5,5 m

Valores de peso próprio estimados para intereixo de 50 cm, capa de 3 cm, material de enchimento cerâmico

Fonte: (CARVALHO; FIGUEIREDO FILHO, 2014, adaptada pelo autor).

Como todas as lajes analisadas no presente trabalho são lajes de piso, e apresentam vãos livres da ordem de 4,50 m e carga atuante p variando de 2,5 kN/m² a 3,0 kN/m², adotou-se, inicialmente, para todas as lajes, uma altura total de 12 cm (8+4), sendo 8 cm a altura da treliça (sapata e armação trelaçada) e 4 cm a capa de compressão, exceto para as Lajes L5 e L6. Como as paredes do corredor e dos banheiros se apoiam diretamente sobre elas, conforme planta arquitetônica mostrada na Figura 15, optou-se por adotar uma altura de 16 cm (12+4) para as lajes L5 e L6. Além disso, foram empregadas uma nervura transversal sob a parede do banheiro e duas vigotas justapostas sob a parede do corredor. A Figura 17 apresenta a planta de fôrmas das lajes trelaçadas modeladas no TQS.

Figura 17 – Planta de fôrmas do pavimento “tipo” constituído de lajes treliçadas unidireccionais.



Fonte: TQS 22.12 – Estudante (2022).

As lajes H8 foram modeladas empregando-se a treliça TR08634, constituída de uma barra de aço CA-60 de 6,0 mm no banzo superior e duas barras de 4,2 mm no banzo inferior. As diagonais da treliça são constituídas de aço CA-60 de 3,4 mm. O elemento de enchimento utilizado foi o EPS H08/33/100, com 8 cm de altura, 33 cm de largura e 100 cm de comprimento. O intereixo foi de 42 cm, equivalente a 33 cm de largura do elemento de enchimento mais 9 cm de largura da nervura.

Já as lajes H12 foram dimensionadas com a treliça TR12645, composta de uma barra de aço CA-60 de 6,0 mm no banzo superior e duas barras de 5,0 mm no banzo inferior. As diagonais da treliça possuem aço CA-60 de 4,2 mm. O elemento de enchimento foi o EPS H12/33/100. O intereixo foi o mesmo adotado para a laje H12.

7 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

Após o processamento do pavimento, realizou-se a análise dos esforços obtidos e das armaduras geradas pelo TQS. O modelo empregado no dimensionamento discretiza as lajes em grelhas, através das quais são geradas faixas de esforços para os momentos fletores positivos e negativos, procurando fornecer um detalhamento econômico para as lajes. Essas faixas de esforços são editáveis, conforme critérios adotados pelo projetista. Neste trabalho, pensando na facilidade de

execução, optou-se por editar as faixas, sempre mantendo os esforços e armaduras máximas geradas pelo programa.

O processamento das lajes se deu, inicialmente, com o modelo de grelha linear, a fim de se obter uma ordem de grandeza dos esforços calculados. Depois de analisados os esforços e as deformações, e editadas as armaduras, processou-se novamente a estrutura com o modelo de grelha não-linear, a fim de se obter um resultado mais preciso das deformações, uma vez que a grelha linear faz uma análise simplificada da deformação lenta (diferida no tempo), multiplicando os deslocamentos verticais imediatos por um coeficiente no valor de 2,5.

7.1 LAJES ISOLADAS

Os quantitativos de insumos e as composições de custos para as lajes isoladas com dimensões 8m x 8m constam do Apêndice A (Laje Maciça) e Apêndice B (Laje Treliçada). Todo o conjunto de lajes isoladas, inclusive a de dimensões de 8m x 8m constante dos apêndices mencionados, apresentaram menor custo quando se emprega o sistema de lajes treliçadas considerando um único pavimento, razão pela qual as lajes com dimensões inferiores não serão apresentadas neste trabalho. Com relação às deformações, a laje maciça passou nas verificações e a laje treliçada demandou aplicação de contra-flecha, como pode ser observado na Tabela 3.

Tabela 3 - Flechas totais (imediatas e diferidas) nas lajes isoladas de 8m x 8m.

Laje	L (cm)	δ_{Calc} (cm)	δ_{Lim} (L/250) (cm)	Verificação	Contra-flecha máxima (L/350) (cm)	Contra-flecha adotada (L/350) (cm)
Maciça	780	2,45	3,12	Passou	-	-
Treliçada	780	3,88	3,12	Não Passou	2,23	0,76

Fonte: elaborada pelo autor com base nos dados do TQS 22.12 – Estudante (2022).

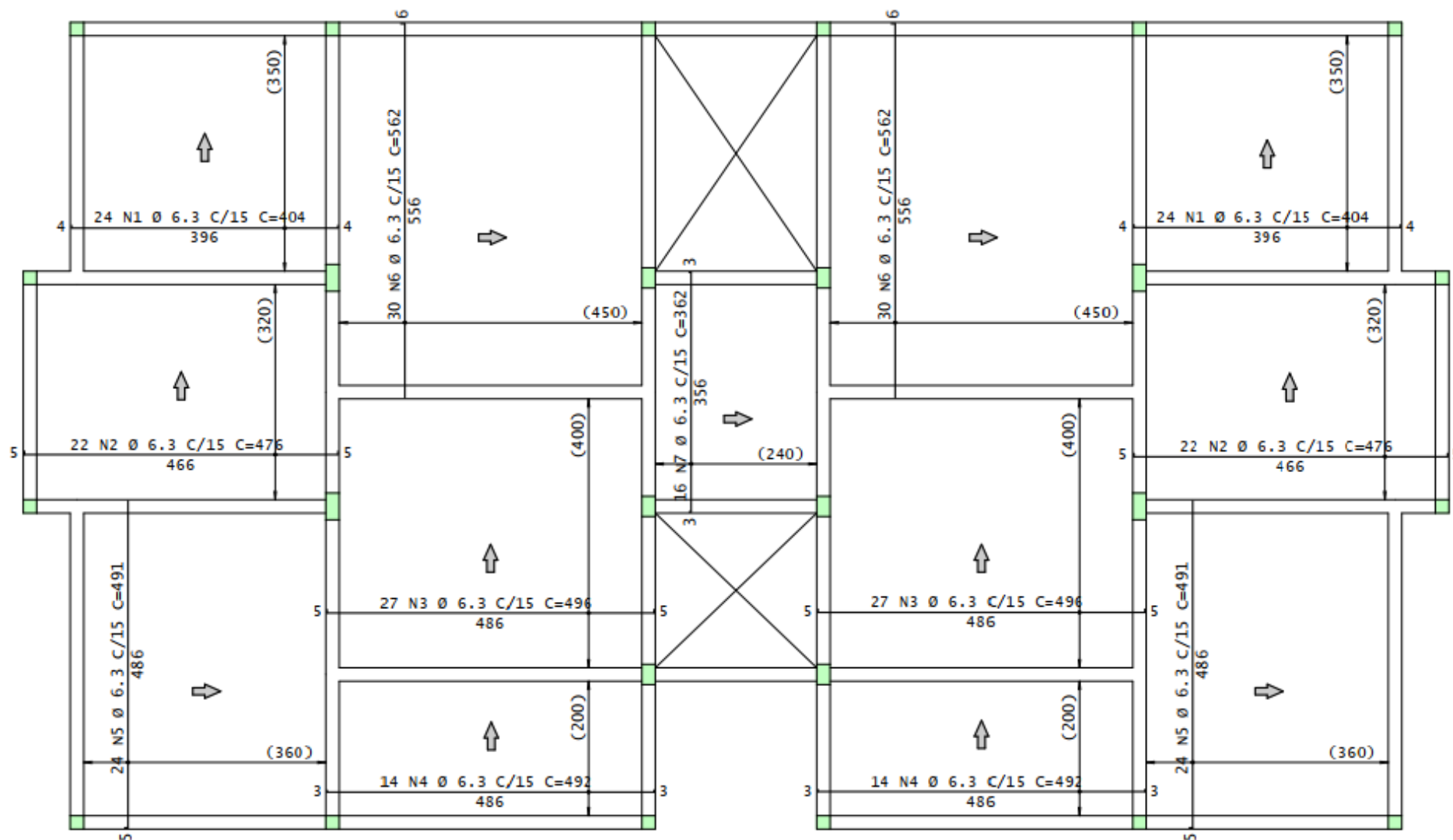
7.2 DIMENSIONAMENTO DO PAVIMENTO “TIPO” ESTUDADO

7.2.1 Lajes Maciças

Após o processamento da estrutura, foram realizadas as análises dos esforços solicitantes e das armaduras de flexão geradas pelo TQS. Com exceção das armaduras negativas das lajes L3-L5 e das armaduras positivas das lajes L12 e L13, para as quais foram dimensionadas barras de 8,0 mm e 5,0 mm, respectivamente, para todas as demais lajes foram geradas armaduras com diâmetro de 6,3 mm. Com

relação ao esforço cortante, não foi necessário o emprego de armaduras, uma vez que a resistência ao cisalhamento superou as solicitações em todas as lajes. As Figuras 18, 19, 20 e 21 apresentam o detalhamento das armaduras positivas e negativas do pavimento “tipo” estudado, modelado com lajes maciças.

Figura 21 - Armadura positiva secundária das lajes maciças.



Fonte: TQS 22.12 – Estudante (2022)

Como esperado, as lajes maciças, por possuírem maior rigidez nas duas direções e uma distribuição uniforme dos esforços, não apresentaram deformações excessivas e passaram nas verificações do estado limite de serviço. A Tabela 4 apresenta os deslocamentos máximos calculados e as verificações dos deslocamentos-limites quanto à aceitabilidade sensorial.

Tabela 4 - Flechas totais (imediatas e diferidas) nas lajes maciças quanto à aceitabilidade sensorial.

Laje	L (cm)	δ_{Calc} (cm)	δ_{Lim} (L/250) (cm)	Verificação
L1=L2	350	0,39	1,40	Passou
L3=L4	450	0,76	1,80	Passou
L5=L6	320	0,63	1,28	Passou
L7	240	0,09	0,96	Passou
L8=L9	380	0,57	1,60	Passou
L10=L11	360	0,65	1,44	Passou
L12=L13	200	0,40	0,80	Passou

Fonte: elaborada pelo autor com base nos dados do TQS 22.12 – Estudante (2022).

Como existem alvenarias em cima e embaixo das lajes L5 e L6, foram verificados também os deslocamentos máximos considerando os efeitos em elementos não estruturais, conforme a Tabela 5.

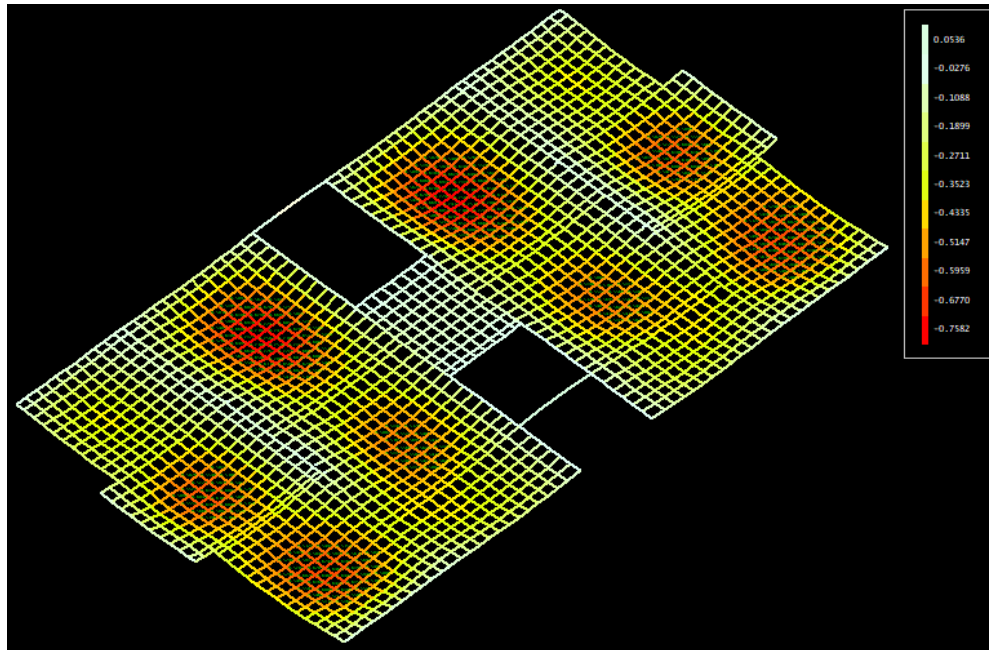
Tabela 5 - Flechas totais (imediatas e diferidas) nas lajes maciças quanto aos efeitos em elementos não estruturais.

Laje	Alvenaria	L (cm)	δ_{Calc} (cm)	δ_{Lim} (L/500) (cm)	Verificação
L5	PR1	320,0	0,07	0,64	Passou
L5	PR2	305,5	0,24	0,61	Passou
L6	PR3	320,0	0,07	0,64	Passou
L6	PR4	305,5	0,24	0,61	Passou

Fonte: elaborada pelo autor com base nos dados do TQS 22.12 – Estudante (2022).

A Figura 22 apresenta a grelha deformada das lajes maciças gerada pelo modelo de grelha não-linear do TQS.

Figura 22 - Grelha deformada das lajes maciças.

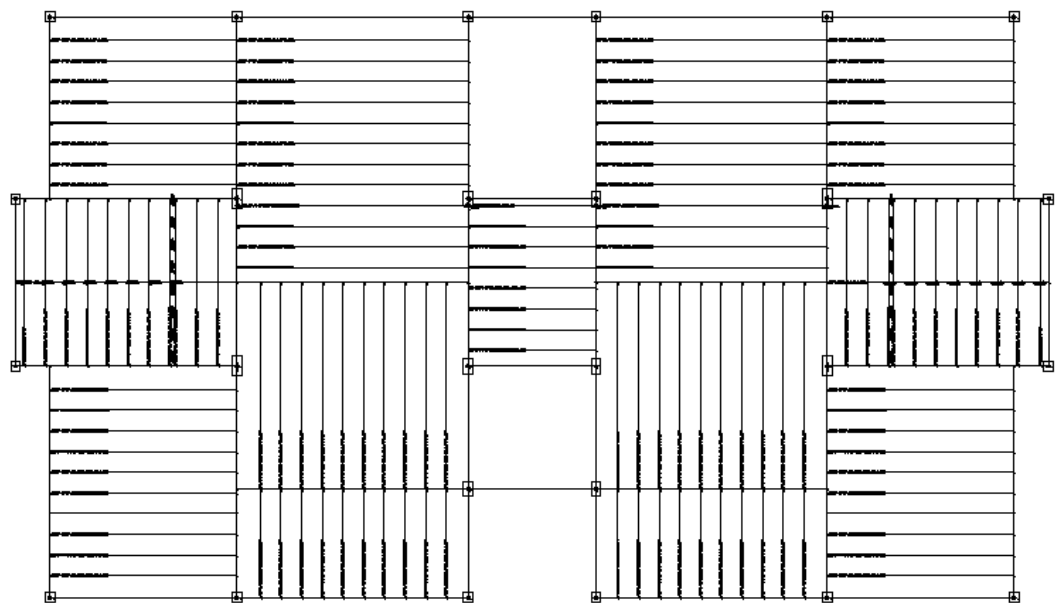


Fonte: TQS 22.12 – Estudante (2022).

7.2.2 Lajes pré-moldadas com vigotas treliçadas

Do mesmo modo que as lajes maciças, as lajes treliçadas também foram calculadas de acordo com o modelo de grelha. Porém, como tais lajes são armadas em uma única direção, as barras da grelha são discretizadas somente na direção das vigotas, que é, em geral, o menor vão. A Figura 23 mostra o desenho de grelha das lajes treliçadas.

Figura 23 - Desenho de grelha das lajes treliçadas.

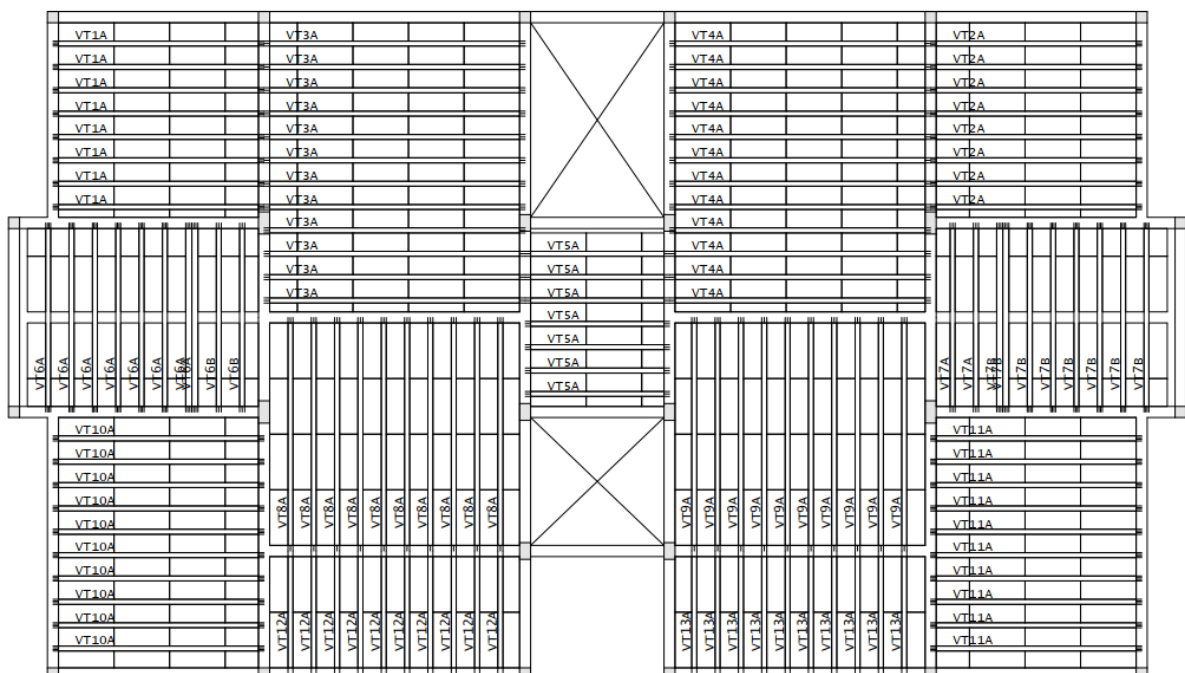


Fonte: TQS 22.12 – Estudante (2022).

Com exceção das lajes L1 e L2, todas as lajes tiveram as vigotas dispostas na direção do menor vão. Como as lajes L1 e L4 são aproximadamente quadradas, com dimensões de 3,70 x 3,80 m, decidiu-se dispor as vigotas na direção do maior vão para que se pudesse considerar a continuidade com as lajes adjacentes L3 e L4, respectivamente, e com isso diminuir o momento fletor positivo destas. Tais lajes, L3 e L4, possuem o maior vão de cálculo do projeto (4,70 m) e, como as lajes pré-moldadas costumam apresentar deformações excessivas, por possuírem menor rigidez, o engastamento nas lajes adjacentes contribui para diminuir os deslocamentos, já que este tipo de vinculação limita as rotações das lajes sobre os apoios.

Assim como nas lajes maciças, o TQS calcula os esforços por barra de grelha e agrupa as faixas numa faixa única, a partir da média ponderada dos esforços. As armaduras longitudinais são então calculadas para o momento fletor ponderado. Para as lajes com maiores vãos, foram calculadas barras adicionais, já que as duas barras de 4,2 mm no banzo inferior não foram suficientes para resistir ao momento fletor solicitante. A Figura 24 apresenta planta de fôrmas com o desenho e a identificação das vigotas treliçadas.

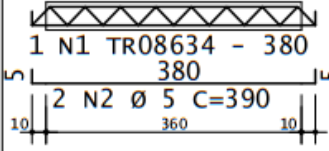
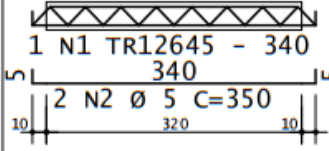
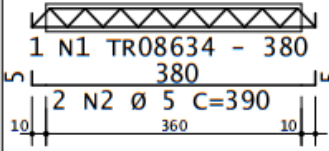
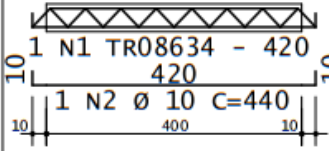
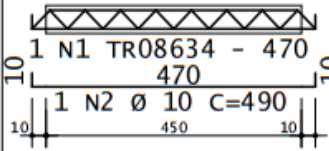
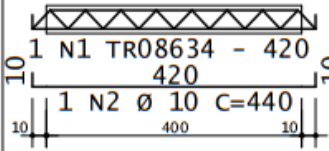
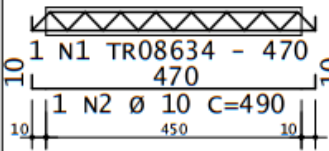
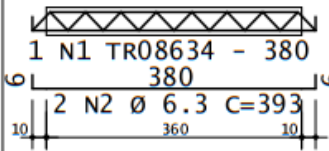
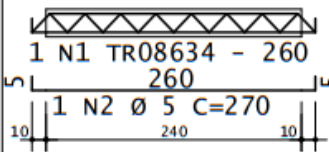
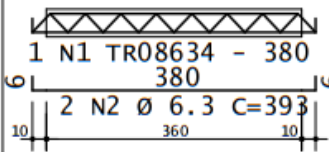
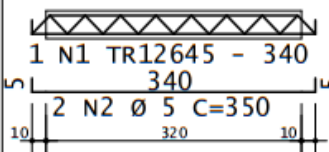
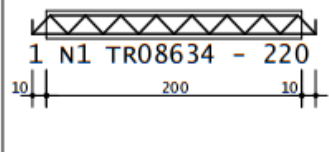
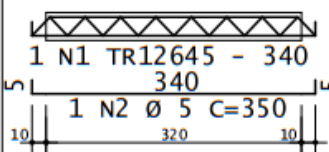
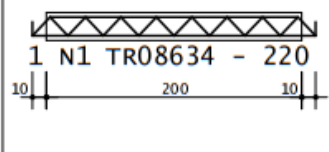
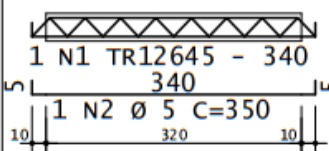
Figura 24 - Planta de fôrmas com a identificação das vigotas treliçadas.



Fonte: TQS 22.12 – Estudante (2022).

O TQS também gera uma planta de fabricação de todas as vigotas dimensionadas. Com exceção das lajes L12 e L13, todas as outras lajes necessitam de armadura complementar de flexão, conforme apresentado na Figura 25.

Figura 25 - Planta de fabricação das vigotas treliçadas.

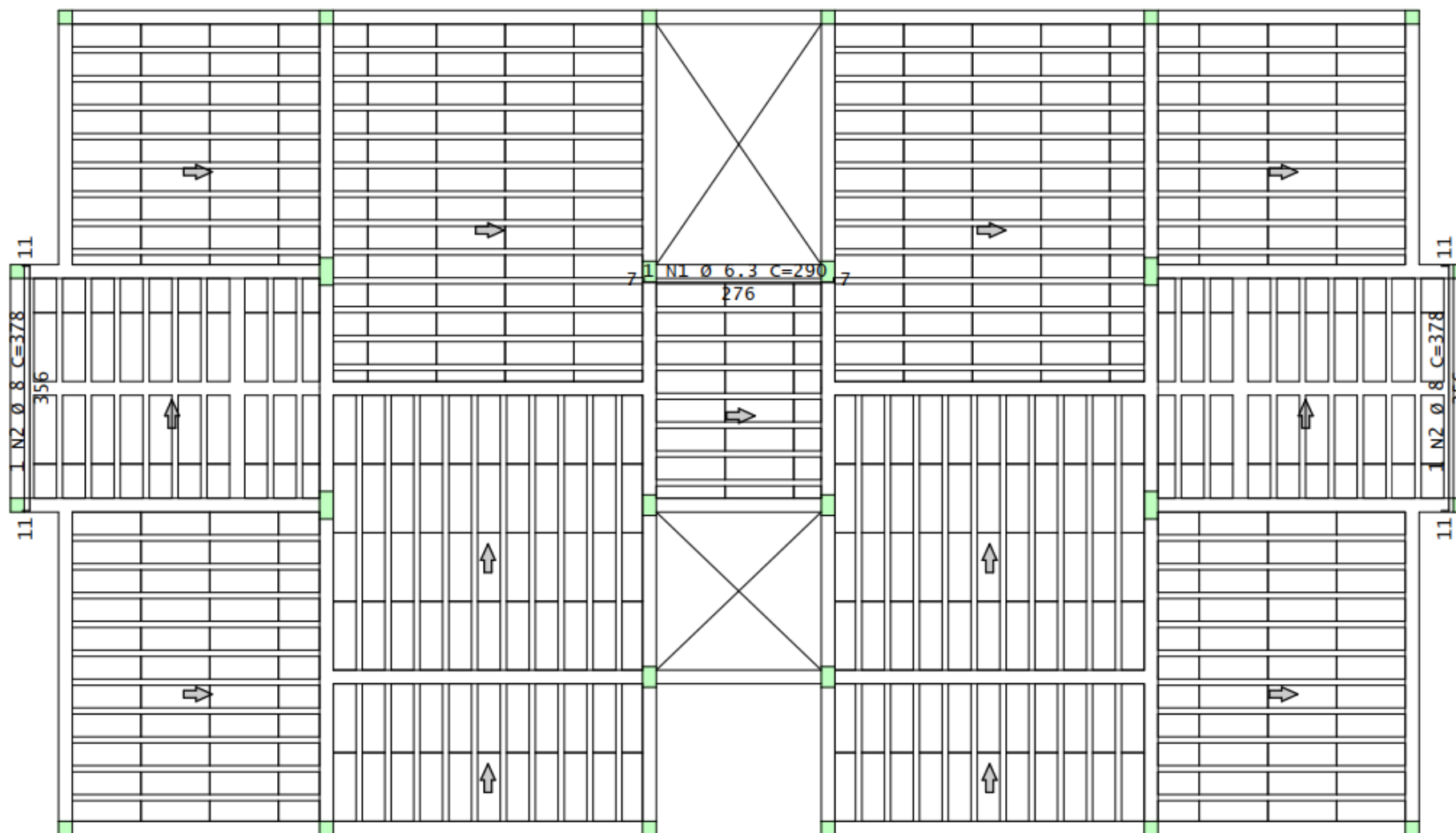
Projeto de fabricação de vigotas treliçadas Sem escala			
VT1A L1 8 Unidades		VT7B L7 8 Unidades	
VT2A L2 8 Unidades		VT8A L8 10 Unidades	
VT3A L3 12 Unidades		VT9A L9 10 Unidades	
VT4A L4 12 Unidades		VT10A L10 10 Unidades	
VT5A L5 7 Unidades		VT11A L11 10 Unidades	
VT6A L6 8 Unidades		VT12A L12 10 Unidades	
VT6B L6 2 Unidades		VT13A L13 10 Unidades	
VT7A L7 2 Unidades			

Fonte: TQS 22.12 – Estudante (2022).

Por padrão, o TQS considera as armaduras adicionais posicionadas dentro da sapata da vigota, mas também é possível alterar a configuração para que o cálculo seja realizado com as armaduras adicionais posicionadas sobre as vigotas, o que não é economicamente muito viável, uma vez que se diminui a altura útil d , resultando numa taxa de armadura maior. Deste modo, neste trabalho optou-se por realizar o cálculo com os adicionais posicionados dentro das vigotas.

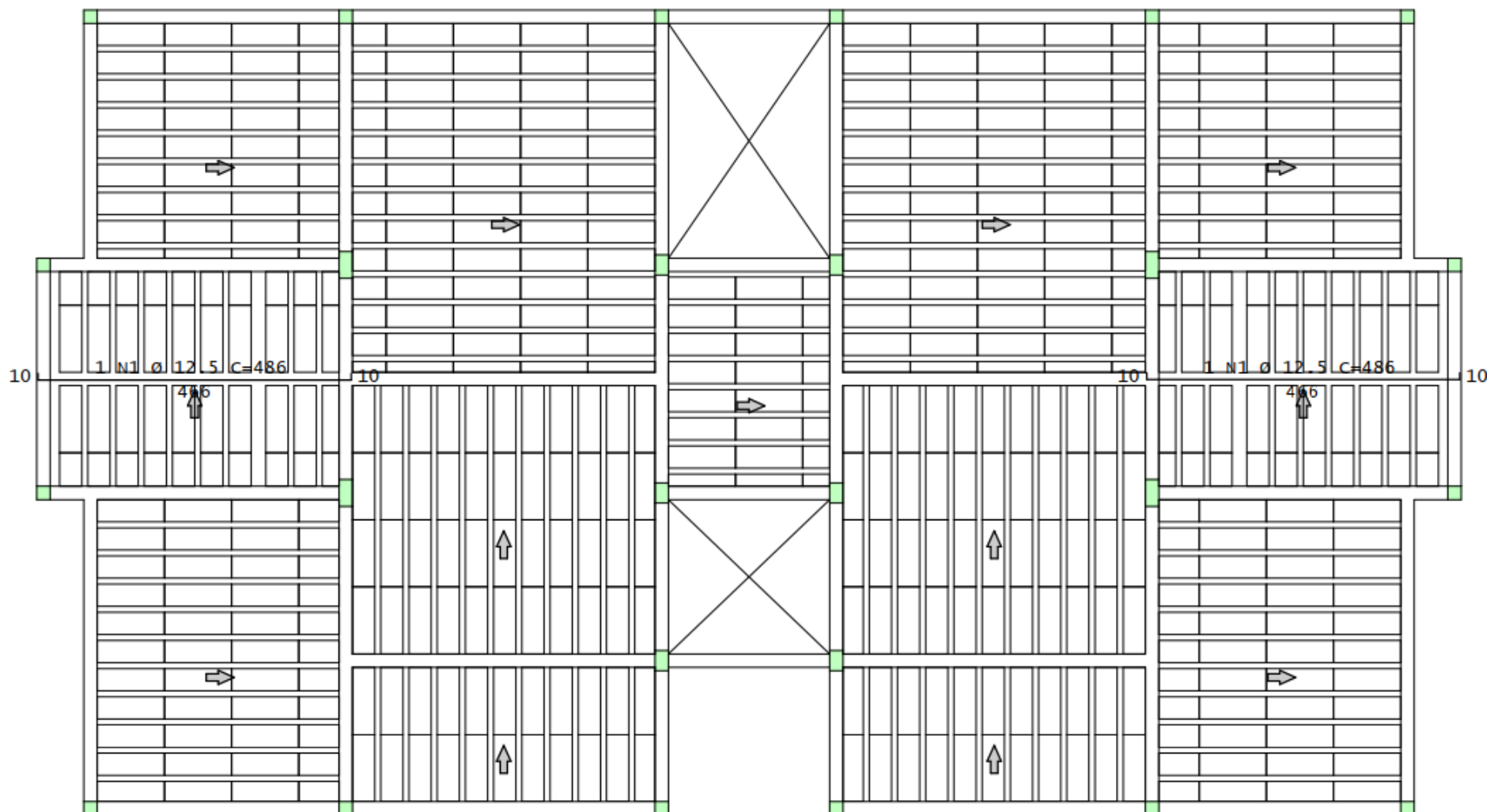
Nas regiões das lajes onde não é possível o alojamento das vigotas, geralmente nas extremidades, o TQS gera uma maciço com armaduras positivas. A mesma situação se aplica às lajes que possuem nervuras transversais, como é o caso das lajes L6 e L7. As Figuras 26 e 27 apresentam o detalhamento das armaduras positivas nas regiões maciças das lajes. Já as Figuras 28 e 29 apresentam o detalhamento das armaduras negativas.

Figura 26 - Armadura positiva principal das regiões maciças das lajes treliçadas.



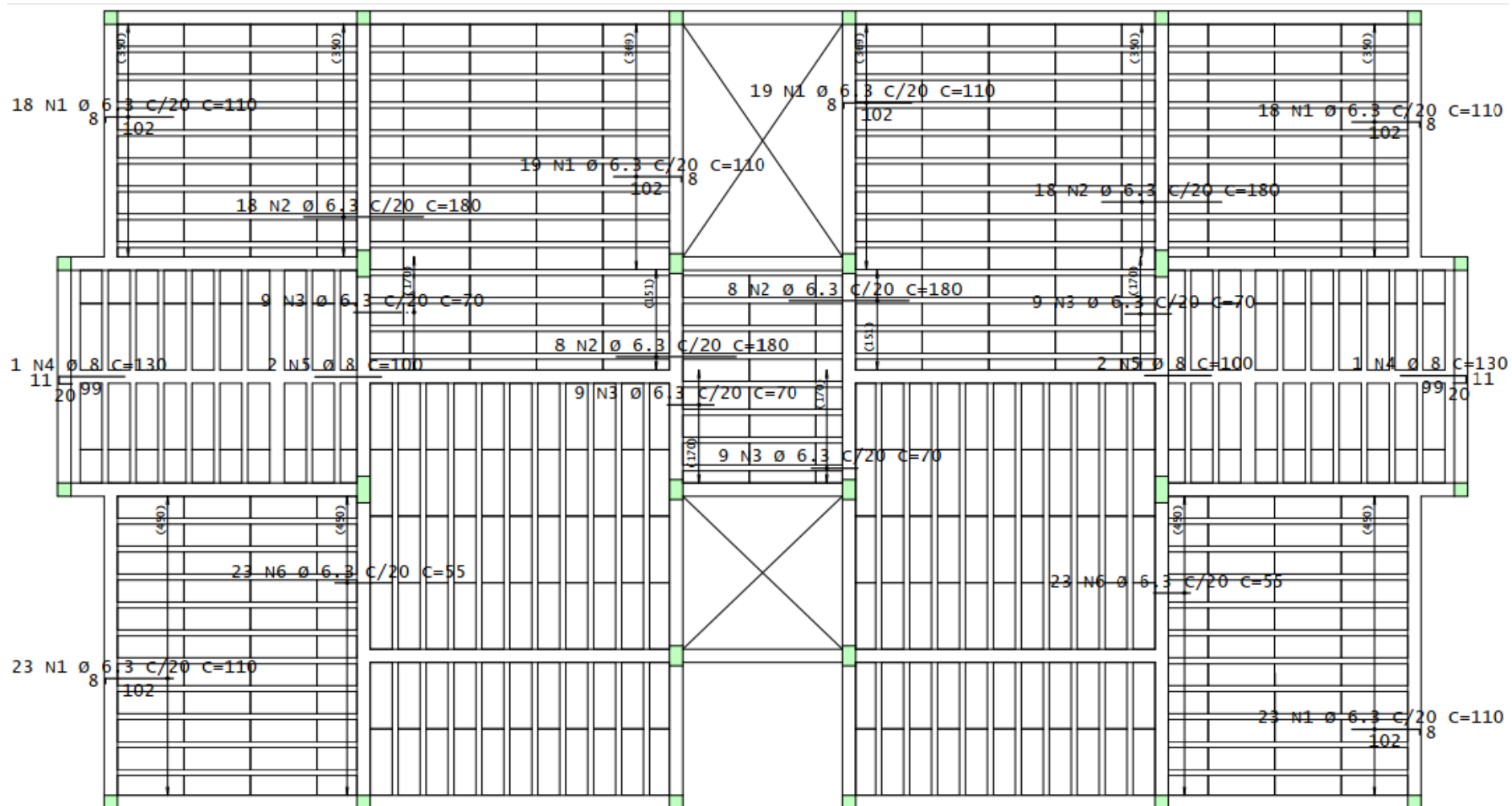
Fonte: TQS 22.12 – Estudante (2022).

Figura 27 - Armadura positiva secundária (nervuras transversais) das regiões maciças das lajes treliçadas.



Fonte: TQS 22.12 – Estudante (2022).

Figura 28 - Armadura negativa horizontal das lajes treliçadas.



Fonte: TQS 22.12 – Estudante (2022).

As lajes pré-moldadas são elementos estruturais de menor rigidez que as lajes maciças e, por esta razão, a verificação do estado limite de serviço de deformação excessiva é fundamental no projeto dessas lajes. Na Tabela 6 se encontram os resultados das flechas totais (imediatas e diferidas) quanto à aceitabilidade sensorial, calculados com o modelo de grelha não-linear do TQS.

Tabela 6 - Flechas totais (imediatas e diferidas) nas lajes treliçadas quanto à aceitabilidade sensorial.

Laje	L (cm)	δ_{Calc} (cm)	δ_{Lim} (L/250) (cm)	Verificação	Contra-flecha máxima (L/350) (cm)	Contra-flecha adotada (cm)
L1=L2	360	0,57	1,44	Passou	-	-
L3=L4	450	1,61	1,80	Passou	-	-
L5=L6	320	1,42	1,28	Não passou	0,91	0,14
L7	240	0,28	0,96	Passou	-	-
L8=L9	400	1,74	1,60	Não passou	1,14	0,14
L10=L11	360	1,86	1,44	Não passou	1,03	0,42
L12=L13	200	0,53	0,80	Passou		

Fonte: elaborada pelo autor com base nos dados do TQS 22.12 – Estudante (2022).

Da mesma forma que nas lajes maciças, como existem alvenarias em cima e embaixo das lajes L5 e L6, foram verificados também os deslocamentos máximos considerando os efeitos em elementos não estruturais, conforme a Tabela 7.

Tabela 7 - Flechas totais (imediatas e diferidas) nas lajes treliçadas quanto aos efeitos em elementos não estruturais.

Laje	Alvenaria	L (cm)	δ_{Calc} (cm)	δ_{Lim} (L/500) (cm)	Verificação
L5	PR1	305,5	0,75	0,61	Não passou
L5	PR2	320,0	0,00	0,64	Passou
L6	PR3	305,5	0,75	0,61	Não passou
L6	PR4	320,0	0,00	0,64	Passou

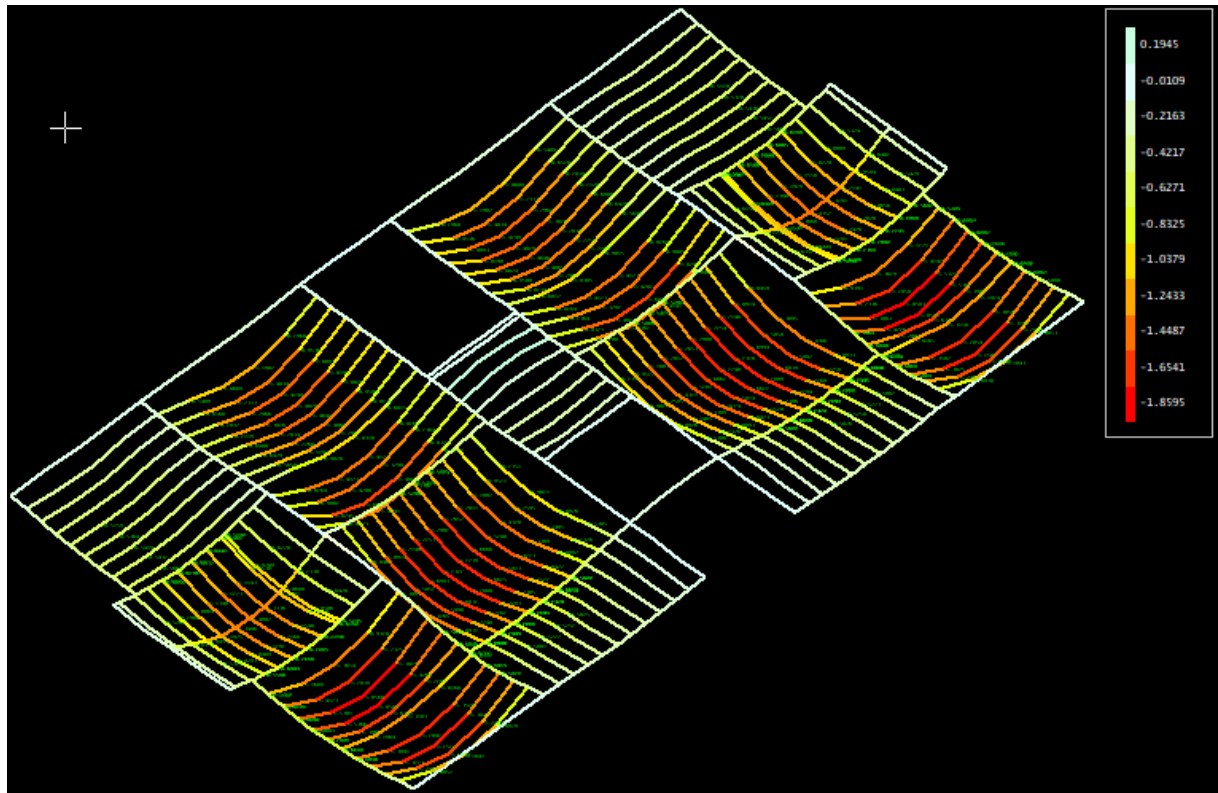
Fonte: elaborada pelo autor com base nos dados do TQS 22.12 – Estudante (2022).

Observa-se que alguma lajes não passaram na verificação das flechas. Contudo, este problema pode ser resolvido com a aplicação de contra-flechas durante a execução. Observa-se, ainda, que as lajes L3 e L4, embora possuam os maiores vãos, passaram na verificação de flechas, indicando que a escolha de considerar a continuidade com as Lajes L1 e L2, respectivamente, foi acertada.

Os valores de contra-flecha adotados na Tabela 5 são exatamente a diferença entre a flecha calculada e a flecha limite, não superando o valor de contra-flecha

máxima permitida pela NBR 6118 (ABNT, 2014). A Figura 30 mostra a grelha deformada das lajes treliçadas.

Figura 30 - Grelha deformada das lajes treliçadas.



Fonte: TQS 22.12 – Estudante (2022).

7.3 COMPOSIÇÃO DE CUSTOS DO PAVIMENTO “TIPO” ESTUDADO

Ao realizar as composições de custos com base nos relatórios da SINAPI, observou-se uma discrepância considerável de valores de alguns insumos, em relação aos preços praticados na região. Decidiu-se, então, utilizar as cotações de preços realizadas com três concreteiras da cidade de Três Corações/MG. A Tabela 8 apresenta as cotações de preço do concreto C30.

Tabela 8 - Cotações de preço do concreto usinado C30.

Concreto	Concreteira 1 Custo (R\$/m ³)	Concreteira 2 Custo (R\$/m ³)	Concreteira 3 Custo (R\$/m ³)	Custo Médio (R\$/m ³)
C30	480,00	490,00	515,00	495,00

Fonte: elaborada pelo autor.

Optou-se, também, por realizar uma cotação de preços com três fabricantes de lajes treliçadas na cidade de Três Corações e utilizá-los na composição de custos,

uma vez que o insumo de código 3746 do Relatório de Preços de Insumos da SINAPI, além de apresentar uma superestimativa de preço (R\$ 114,43 por m²), não traz informações específicas sobre o tipo de laje, tais como elemento de enchimento considerado, a espessura da laje e a presença ou não de armaduras positivas complementares. A Tabela 9 apresenta as cotações de preço realizadas para as Lajes H8 e H12.

Tabela 9 - Cotações de preços das lajes treliçadas H8 e H12 sem adicionais.

Laje	Fabricante 1 (R\$/m ²)	Fabricante 2 (R\$/m ²)	Fabricante 3 (R\$/m ²)	Custo Médio (R\$/m ²)
H8	55,00	60,00	60,00	58,33
H12	65,00	75,00	87,00	75,67

Fonte: elaborada pelo autor.

7.3.1 Lajes maciças considerando 4 pavimentos

O cálculo dos custos totais das lajes maciças foi realizado com base na composição de custos unitários da SINAPI e no quantitativo de materiais fornecidos pelo TQS. Na Tabela 10 estão listados os insumos e composições necessários à execução das fôrmas e escoramento das lajes maciças, seus respectivos custos unitários e custo unitário total, em R\$/m².

Tabela 10 - Composição de custos unitários para fôrmas de laje maciça para 4 utilizações.

FUES 103761		Montagem e desmontagem de fôrma de laje maciça, pé- direito simples, em chapa de madeira compensada resinada e cimbramento em madeira, 4 utilizações. AF_03/2022	m²	Coefic.	Custo Unit. (R\$)	Custo Total (R\$/m²)	Percentual (%)
I	2692	Desmoldante protetor para fôrmas de madeira, de base oleosa emulsionada em água	I	0,0100	5,21	0,05	0,06
I	4433	Caibro não aparelhado 7,5 x 7,5 cm, em maçaramduba, angelim ou equivalente da região - bruta	m	0,3870	44,94	17,39	20,11
I	6193	Tábua não aparelhada 2,5 x 20 cm em maçaramduba, angelim ou equivalente da região - bruta	m	0,3370	32,47	10,94	12,66
C	40304	Prego de aço polido com cabeça dupla 17 x 27 (2 1/2 x 11)	kg	0,0780	26,62	2,08	2,40
C	88239	Ajudante de carpinteiro com encargos complementares	h	0,1710	17,87	3,06	3,53
C	88262	Carpinteiro de formas com encargos complementares	h	0,9350	22,12	20,68	23,92
C	92267	Fabricação de fôrma para lajes, em chapa de madeira compensada resinada, e= 17 mm. AF_12/2015	m²	0,3410	57,36	19,56	22,62
C	92273	Fabricação de escoras do tipo pontalete, em madeira, para pé- direito simples. AF_09/2020	m	0,8670	14,65	12,70	14,29
Total						86,46	100,00

Fonte: SINAPI – Tabela Desonerada – Minas Gerais (04/2022).

A sigla FUES indica que a composição pertence ao grupo de Fundações e Estruturas do sistema SINAPI. Já o número abaixo da sigla FUES é o código da composição de montagem e desmontagem de fôrmas de laje maciça. A letra “I” significa que se trata de um insumo e, a letra “C”, de uma composição.

Em seguida, a Tabela 11 apresenta a composição referente ao concreto, na qual estão inclusos o Concreto C30 e os serviços de concretagem necessários à execução de lajes maciças.

Tabela 11 - Composição de custos unitários para concretagem de laje maciça.

FUES 103675		Concretagem de vigas e lajes, fck=25 MPa, para lajes maciças ou nervuradas com uso de bomba - lançamento, adensamento e acabamento. AF_12/2015	m ³	Coefic.	Custo Unit. (R\$)	Custo Total (R\$/m ²)	Percentual (%)
I	1525	Concreto usinado bombeável, classe de resistência C30, com brita 0 e 1, slump = 100 +/- 20 mm, inclui serviço de bombeamento (NBR 8953)	m ³	1,1030	495,00	545,99	94,26%
I	88262	Carpinteiro de formas com encargos complementares	h	0,1250	22,12	2,77	0,48%
I	88309	Pedreiro com encargos complementares	h	0,7530	22,37	16,84	2,91%
C	88316	Servente com encargos complementares	h	0,8260	16,21	13,39	2,31%
C	90586	Vibrador de imersão, diâmetro de ponteira 45mm, motor elétrico trifásico, potência de 2 cv - chp diurno. Af_06/2015	CHP	0,1200	1,44	0,17	0,03%
C	90587	Vibrador de imersão, diâmetro de ponteira 45mm, motor elétrico trifásico, potência de 2 cv - chi diurno. Af_06/2015	CHI	0,1310	0,53	0,07	0,01%
Total						579,23	100,00

Fonte: SINAPI – Tabela Desonerada – Minas Gerais (04/2022).

É importante ressaltar, que embora no título da composição esteja indicado concreto com fck = 25 MPa, o concreto adotado no projeto e utilizado na composição foi o de 30 MPa, como se observa na segunda linha da Tabela 11. Como a SINAPI não traz uma composição específica para concretagem de lajes com concreto C30, foi necessário consultar a tabela de Preços dos Insumos da SINAPI e substituir o concreto C25 pelo concreto C30 na composição.

Por fim, nas Tabelas 12, 13 e 14 são apresentadas as composições de custo unitário dos aços utilizados no dimensionamento das lajes maciças.

Tabela 12 - Composição de custos unitários do aço CA-60 de 5.0 mm.

FUES 92768	Armação de laje de uma estrutura convencional de concreto armado em um edifício de múltiplos pavimentos utilizando aço CA-60 de 5.0 mm - montagem. AF_12/2015_p	kg	Coefic.	Custo Unit. (R\$)	Custo Total (R\$/m²)	Percentual (%)
I 39017	Espaçador / distanciador circular com entrada lateral, em plástico, para vergalhão *4,2 a 12,5* mm, cobrimento 20 mm	Un	2,1180	0,21	0,44	3,04
I 43132	Arame recozido 18bwg, 1,25 mm (0,01kg/m)	kg	0,0250	26,90	0,67	4,60
C 88238	Ajudante de armador com encargos complementares	h	0,0140	16,55	0,23	1,58
C 88245	Armador com encargos complementares	h	0,0855	22,24	1,90	13,00
C 92800	Corte e dobra de aço CA-60, diâmetro de 5.0 mm, utilizado em laje. Af_12/2015	kg	1,0000	11,38	11,38	77,78
				Total	14,63	100,00

Fonte: SINAPI – Tabela Desonerada – Minas Gerais (04/2022).

Tabela 13 - Composição de custos unitários do aço CA-50 de 6.3 mm.

FUES 92769	Armação de laje de uma estrutura convencional de concreto armado em um edifício de múltiplos pavimentos utilizando aço CA-50 de 6.3 mm - montagem. AF_12/2015_p	kg	Coefic.	Custo Unit. (R\$)	Custo Total (R\$/m²)	Percentual (%)
I 39017	Espaçador / distanciador circular com entrada lateral, em plástico, para vergalhão *4,2 a 12,5* mm, cobrimento 20 mm	Un	1,3330	0,21	0,28	1,94
I 43132	Arame recozido 18 bwg, 1,25 mm (0,01kg/m)	kg	0,0250	26,90	0,67	4,67
C 88238	Ajudante de armador com encargos complementares	h	0,0105	16,55	0,17	1,21
C 88245	Armador com encargos complementares	h	0,0646	22,24	1,44	9,97
C 92801	Corte e dobra de aço CA-50, diâmetro de 6.3 mm, utilizado em laje. Af_12/2015	kg	1,000	11,85	11,85	82,22
				Total	14,41	100,00

Fonte: SINAPI – Tabela Desonerada – Minas Gerais (04/2022).

Tabela 14 - Composição de custos unitários do aço CA-50 de 8.0 mm.

FUES 92770	Armação de laje de uma estrutura convencional de concreto armado em um edifício de múltiplos pavimentos utilizando aço CA-50 de 8.0 mm - montagem. AF_12/2015_p	kg	Coefic.	Custo Unit. (R\$)	Custo Total (R\$/m²)	Percentual (%)
I 39017	Espaçador / distanciador circular com entrada lateral, em plástico, para vergalhão *4,2 a 12,5* mm, cobertura 20 mm	Un	0,7280	0,21	0,15	1,09
I 43132	Arame recozido 18 bwg, 1,25 mm (0,01kg/m)	kg	0,0250	26,90	0,67	4,81
C 88238	Ajudante de armador com encargos complementares	h	0,0078	16,55	0,13	0,92
C 88245	Armador com encargos complementares	h	0,0475	22,24	1,06	7,56
C 92802	Corte e dobra de aço CA-50, diâmetro de 8.0 mm, utilizado em laje. Af_12/2015	kg	1,0000	11,96	11,96	85,61
				Total	13,97	100,00

Fonte: SINAPI – Tabela Desonerada – Minas Gerais (04/2022).

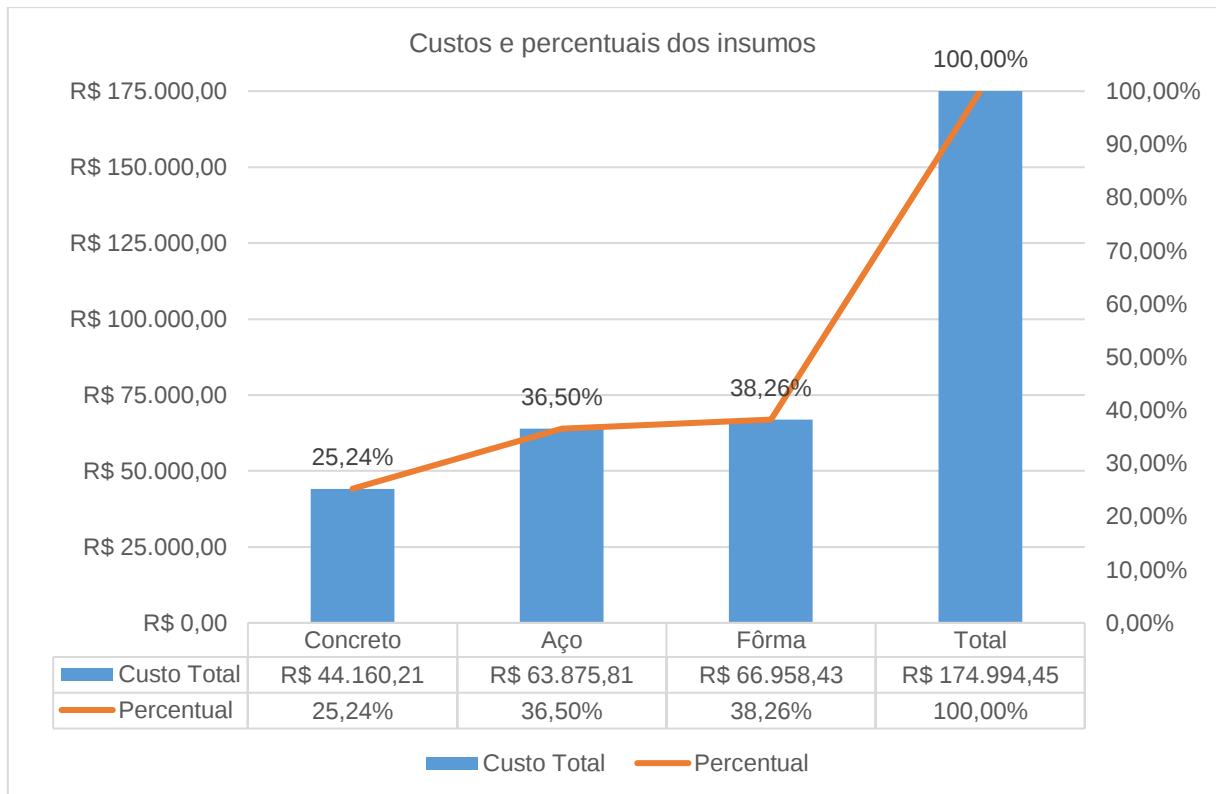
Os custos totais das lajes maciças, para 4 pavimentos, são apresentados na Tabela 15.

Tabela 15 - Custos totais das lajes maciças considerando 4 pavimentos.

Descrição	Unidade	Quantidade	Custo Unitário (R\$/m²)	Custo Total (R\$)	Percentual (%)
Fôrmas	m²	774,40	86,46	66.956,10	38,26
Concreto	m³	76,24	579,23	44.160,21	25,24
Aço CA-60, 5.0 mm	kg	128,00	14,63	1.872,70	1,07
Aço CA-50, 6.3 mm	kg	4236,00	14,41	61.053,08	34,89
Aço CA-50, 8.0 mm	kg	68,00	13,97	950,02	0,54
			Total	174.994,45	100,00

Fonte: autoria própria.

A Figura 31 apresenta o gráfico com os percentuais de cada insumo na composição dos custos totais das lajes maciças considerando 4 pavimentos.

Figura 31 - Gráfico: percentuais dos insumos e custos totais das lajes maciças em 4 pavimentos.

Fonte: autoria própria (2022).

Observa-se no gráfico que o insumo que mais onerou os custos de produção das lajes maciças considerando 6 pavimentos foram as fôrmas, representando 38,26% dos custos totais.

7.3.2 Lajes maciças considerando 6 pavimentos

Para as lajes maciças considerando 6 pavimentos “tipo”, será necessário apresentar apenas a composição referente às fôrmas, já que neste caso, os rendimentos mudam conforme o número de pavimentos considerados. As composições do concreto e do aço são as mesmas apresentadas no item anterior (7.3.1), para lajes maciças em 4 pavimentos. Na Tabela 16 estão listados os insumos e composições necessários à execução das fôrmas e escoramento das lajes maciças considerando 6 pavimentos.

Tabela 16 - Composição de custos unitários para fôrmas de laje maciça para 6 utilizações.

FUES 103762		Montagem e desmontagem de fôrma de laje maciça, pé-direito simples, em chapa de madeira compensada resinada e cimbramento em madeira, 6 utilizações. AF_03/2022	m²	Coefic.	Custo Unit. (R\$)	Custo Total (R\$/m²)	Percentual (%)
I	2692	Desmoldante protetor para fôrmas de madeira, de base oleosa emulsionada em água	l	0,0100	5,51	0,06	0,08%
I	4433	Caibro não aparelhado 7,5 x 7,5 cm, em maçaramduba, angelim ou equivalente da região - bruta	m	0,2780	44,94	12,49	17,13%
I	6193	Tábua não aparelhada 2,5 x 20 cm em maçaramduba, angelim ou equivalente da região - bruta	m	0,3370	32,47	10,94	15,00%
C	40304	Prego de aço polido com cabeça dupla 17 x 27 (2 1/2 x 11)	kg	0,0780	26,62	2,08	2,85%
C	88239	Ajudante de carpinteiro com encargos complementares	h	0,1580	17,87	2,82	3,87%
C	88262	Carpinteiro de formas com encargos complementares	h	0,8640	22,12	19,11	26,20%
C	92267	Fabricação de fôrma para lajes, em chapa de madeira compensada resinada, e= 17 mm. AF_12/2015	m²	0,2450	57,36	14,05	19,26%
C	92273	Fabricação de escoras do tipo pontalete, em madeira, para pé-direito simples. AF_09/2020	m	0,7780	14,65	11,40	15,62%
Total						72,95	100,00

Fonte: SINAPI – Tabela Desonerada – Minas Gerais (04/2022).

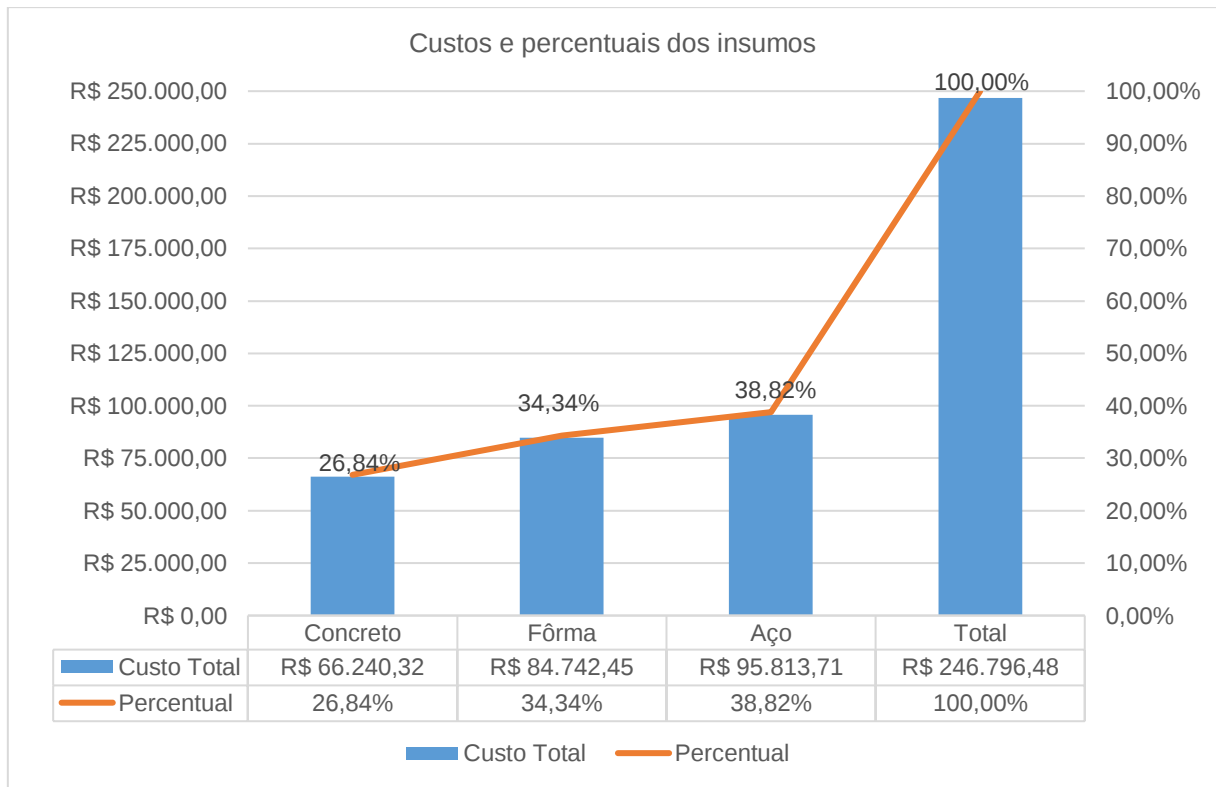
Os custos totais das lajes maciças, para 6 pavimentos, são apresentados na Tabela 17.

Tabela 17 - Custos totais das lajes maciças considerando 6 pavimentos.

Descrição	Unidade	Quantidade	Custo Unitário (R\$/m²)	Custo Total (R\$)	Percentual (%)
Fôrmas	m²	1161,60	72,95	84.742,45	34,34
Concreto	m³	114,36	579,23	66.240,32	26,84
Aço CA-60, 5.0 mm	kg	192,00	14,63	2.809,06	1,14
Aço CA-50, 6.3 mm	kg	6354,00	14,41	91.579,62	37,11
Aço CA-50, 8.0 mm	kg	102,00	13,97	1.425,03	0,58
Total				246.796,48	100,00

Fonte: autoria própria.

A Figura 32 apresenta o gráfico com os percentuais de cada insumo na composição dos custos totais das lajes maciças considerando 6 pavimentos.

Figura 32 - Gráfico: percentuais dos insumos e custos totais das lajes maciças em 6 pavimentos.

Fonte: autoria própria (2022).

Observa-se no gráfico que o insumo que mais onerou os custos de produção das lajes maciças considerando 6 pavimentos foi o aço, representando 38,82% dos custos totais.

7.3.3 Lajes treliçadas considerando 4 pavimentos

As composições de custos das lajes treliçadas foram realizadas com base no Caderno Técnico de Lajes Pré-Moldadas da SINAPI, uma vez que os relatórios mensais só trazem composições para vigotas pré-moldadas convencionais para forro e piso, ambas com 12 cm de espessura. Embora os insumos e serviços considerados sejam basicamente os mesmos, os índices de produtividade diferem das lajes com vigotas treliçadas. Além disso, as Lajes L5 e L6 têm 16 cm espessura, sendo necessário realizar uma composição de custos específica para as mesmas.

A Tabela 18 apresenta a composição de custo unitário da laje treliçada H8.

Tabela 18 - Composição de custo unitário da laje treliçada H8.

01.FUES.LAJE.013/01		Laje pré-moldada unidirecional, biapoiada, enchimento em EPS, vigota treliçada, altura total da laje (enchimento+capa) = (8+4). AF_11/2020	m²	Coefic.	Custo Unit. (R\$)	Custo Total (R\$/m²)	Per. (%)
Código SIPC							
101951							
I	43357	Laje pré-moldada treliçada (lajotas + vigotas) com lajota em poliestireno expandido (EPS), H8, 33 x 100 x 8 cm (L x C x A) e vigota VTR 12 x 8 cm (L x A), para piso, unidirecional, sobrecarga de 350 kg/m², vão até 6,00 m (sem colocação)	m²	1,0000	58,33	58,33	38,98
I	6193	Tábua não aparelhada 2,5 x 20 cm em maçaramduba, angelim ou equivalente da região - bruta	m²	1,8700	32,47	60,72	40,58
I	40304	Prego de aço polido com cabeça dupla 17 x 27 (2 1/2 x 11)	m²	0,0400	26,62	1,06	0,71
C	88262	Carpinteiro de formas com encargos complementares	h	0,4560	22,12	10,09	6,74
C	88316	Servente com encargos complementares	h	0,3220	16,21	5,22	3,49
C	92273	Fabricação de escoras do tipo pontalete, em madeira, para pé-direito simples. AF_09/2020	M	0,9700	14,65	14,21	9,50
Total						149,63	100,00

Fonte: SINAPI – Tabela Desonerada – Minas Gerais (04/2022).

Já na Tabela 19 é apresentada a composição de custo unitário da laje treliçada H12.

Tabela 19 - Composição de custo unitário da laje treliçada H12.

01.FUES.LAJE.014/01		Laje pré-moldada unidirecional, biapoiada, enchimento em EPS, vigota treliçada, altura total da laje (enchimento+capa) = (12+4). AF_11/2020	m²	Coefic.	Custo Unit. (R\$)	Custo Total (R\$/m²)	Per. (%)
Código SIPCI							
101952							
I	43357	Laje pré-moldada treliçada (lajotas + vigotas) com lajota em poliestireno expandido (EPS), H12, 33 x 100 x 8 cm (L x C x A) e vigota VTR 12 x 8 cm (L x A), para piso, unidirecional, sobrecarga de 350 kg/m², vão até 6,00 m (sem colocação)	m²	1,0000	75,67	75,67	48,03
I	6193	Tábua não aparelhada 2,5 x 20 cm em maçaramduba, angelim ou equivalente da região – bruta	m²	1,7200	32,47	55,85	35,45
I	40304	Prego de aço polido com cabeça dupla 17 x 27 (2 1/2 x 11)	m²	0,0370	26,62	0,98	0,63
C	88262	Carpinteiro de formas com encargos complementares	h	0,3880	22,12	8,58	5,45
C	88316	Servente com encargos complementares	h	0,2750	16,21	4,46	2,83
C	92273	Fabricação de escoras do tipo pontalete, em madeira, para pé-direito simples. AF_09/2020	M	0,8200	14,65	12,01	7,62
Total						157,56	100,00

Fonte: SINAPI – Tabela Desonerada – Minas Gerais (04/2022).

Na Tabela 20 apresenta-se a composição de custo unitário da concretagem das lajes treliçadas. A mesma justificativa dada para as lajes maciças com relação à substituição do concreto C30 pelo C25 na composição, também é válida para as lajes treliçadas.

Tabela 20 - Composição de custos unitários para concretagem de laje pré-moldada.

FUES 103674		Concretagem de vigas e lajes, fck=25 MPa, para lajes pré-moldadas com uso de bomba - lançamento, adensamento e acabamento. AF_12/2015	m³	Coefic.	Custo Unit. (R\$)	Custo Total (R\$/m²)	Percentual (%)
I	1525	Concreto usinado bombeável, classe de resistência C30, com brita 0 e 1, slump = 100 +/- 20 mm, inclui serviço de bombeamento (NBR 8953)	m³	1,1030	495,00	545,99	91,79
I	88262	Carpinteiro de formas com encargos complementares	h	0,1860	22,12	4,11	0,69
I	88309	Pedreiro com encargos complementares	h	1,1190	22,37	25,03	4,21
C	88316	Servente com encargos complementares	h	1,1920	16,21	19,32	3,25
C	90586	Vibrador de imersão, diâmetro de ponteira 45mm, motor elétrico trifásico, potência de 2 cv - chp diurno. Af_06/2015	CHP	0,1940	1,44	0,28	0,05
C	90587	Vibrador de imersão, diâmetro de ponteira 45mm, motor elétrico trifásico, potência de 2 cv - chi diurno. Af_06/2015	CHI	0,1790	0,53	0,09	0,02
Total						594,83	100,00

Fonte: SINAPI – Tabela Desonerada – Minas Gerais (04/2022).

Com relação à composição de custos das armaduras da laje treliçada, serão apresentados apenas as composições do aço de 10,0 mm e 12,5 mm, pois as composições dos aços de 5,0 mm, 6,3 mm e 8,0 mm já foram apresentadas no tópico de lajes maciças e são válidas também para as lajes treliçadas. As Tabelas 21 e 22 apresentam as composições de custo unitário dos aços de 10,0 mm e 12,5 mm, respectivamente.

Tabela 21 - Composição de custos unitários do aço CA-50 de 10.0 mm.

FUES 92771	Armação de laje de uma estrutura convencional de concreto armado em um edifício de múltiplos pavimentos utilizando aço CA-50 de 10.0 mm - montagem. AF_12/2015_p	kg	Coefic.	Custo Unit. (R\$)	Custo Total (R\$/m²)	Percentual (%)
I 39017	Espaçador / distanciador circular com entrada lateral, em plástico, para vergalhão *4,2 a 12,5* mm, cobrimento 20 mm	Un	0,3570	0,21	0,07	0,54
I 43132	Arame recozido 18 bwg, 1,25 mm (0,01kg/m)	kg	0,0250	26,90	0,67	4,81
C 88238	Ajudante de armador com encargos complementares	h	0,0057	16,55	0,09	0,68
C 88245	Armador com encargos complementares	h	0,0348	22,24	0,77	5,54
C 92803	Corte e dobra de aço CA-50, diâmetro de 10.0 mm, utilizado em laje. Af_12/2015	kg	1,0000	11,12	11,12	79,59
				Total	12,74	100,00

Fonte: SINAPI – Tabela Desonerada – Minas Gerais (04/2022).

Tabela 22 - Composição de custos unitários do aço CA-50 de 12,5 mm.

FUES 92771	Armação de laje de uma estrutura convencional de concreto armado em um edifício de múltiplos pavimentos utilizando aço CA-50 de 12.5 mm - montagem. AF_12/2015_p	kg	Coefic.	Custo Unit. (R\$)	Custo Total (R\$/m²)	Percentual (%)
I 39017	Espaçador / distanciador circular com entrada lateral, em plástico, para vergalhão *4,2 a 12,5* mm, cobrimento 20 mm	Un	0,1470	0,21	0,03	0,22%
I 43132	Arame recozido 18 bwg, 1,25 mm (0,01kg/m)	kg	0,0250	26,90	0,67	4,81%
C 88238	Ajudante de armador com encargos complementares	h	0,0040	16,55	0,07	0,47%
C 88245	Armador com encargos complementares	h	0,0247	22,24	0,55	3,93%
C 92803	Corte e dobra de aço CA-50, diâmetro de 12.5 mm, utilizado em laje. Af_12/2015	kg	1,0000	9,56	9,56	68,43%
				Total	10,88	100,00

Fonte: SINAPI – Tabela Desonerada – Minas Gerais (04/2022).

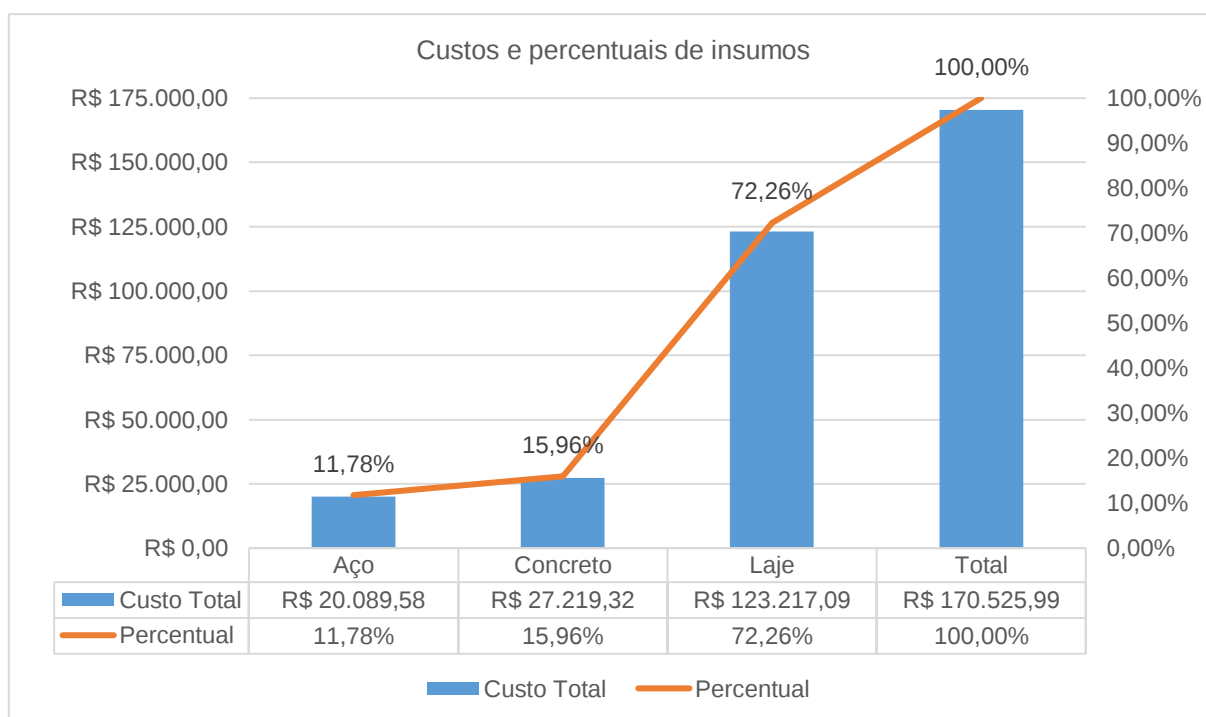
Os custos totais das lajes treliçadas pré-moldadas, considerando 4 pavimentos, são apresentados na Tabela 23.

Tabela 23 - Custos totais das lajes treliçadas considerando 4 pavimentos.

Descrição	Unidade	Quant.	Custo Unitário (R\$/m²)	Custo Total (R\$)	Percentual (%)
Laje H8	m²	700,32	149,63	104.789,26	61,45
Laje H12	m²	116,96	157,56	18.427,83	10,81
Aço CA-60 5,0 mm	kg	168,00	14,63	2.457,92	1,44
Aço CA-50 6,3 mm	kg	724,00	14,41	10.434,95	6,12
Aço CA-50 8,0 mm	kg	24,00	13,97	335,30	0,20
Aço CA-50 10,0 mm	kg	508,00	12,74	6.469,76	3,79
Aço CA-50 12,5 mm	kg	36,00	10,88	391,64	0,23
CONCRETO	m³	45,76	594,83	27.219,32	15,96
Total				170.525,99	100,00

Fonte: autoria própria.

A Figura 33 apresenta o gráfico com os percentuais de cada insumo na composição dos custos totais das lajes treliçadas considerando 4 pavimentos.

Figura 33 - Gráfico: percentuais dos insumos e custos totais das lajes treliçadas em 4 pavimentos.

Fonte: autoria própria (2022).

Observa-se no gráfico que o insumo que mais onerou os custos de produção das lajes treliçadas considerando 4 pavimentos foi o próprio elemento pré-moldado, representando 72,26% dos custos totais, em cuja composição já estão inclusos os custos do escoramento.

7.3.4 Lajes treliçadas considerando 6 pavimentos

Os insumos e serviços necessários à execução das lajes treliçadas com 6 pavimentos são os mesmos considerados para as lajes com 4 pavimentos, cujas composições de custo já foram apresentadas no tópico anterior (7.2.3). As únicas mudanças são com relação ao quantitativo de materiais e custos totais, os quais são apresentados na Tabela 24.

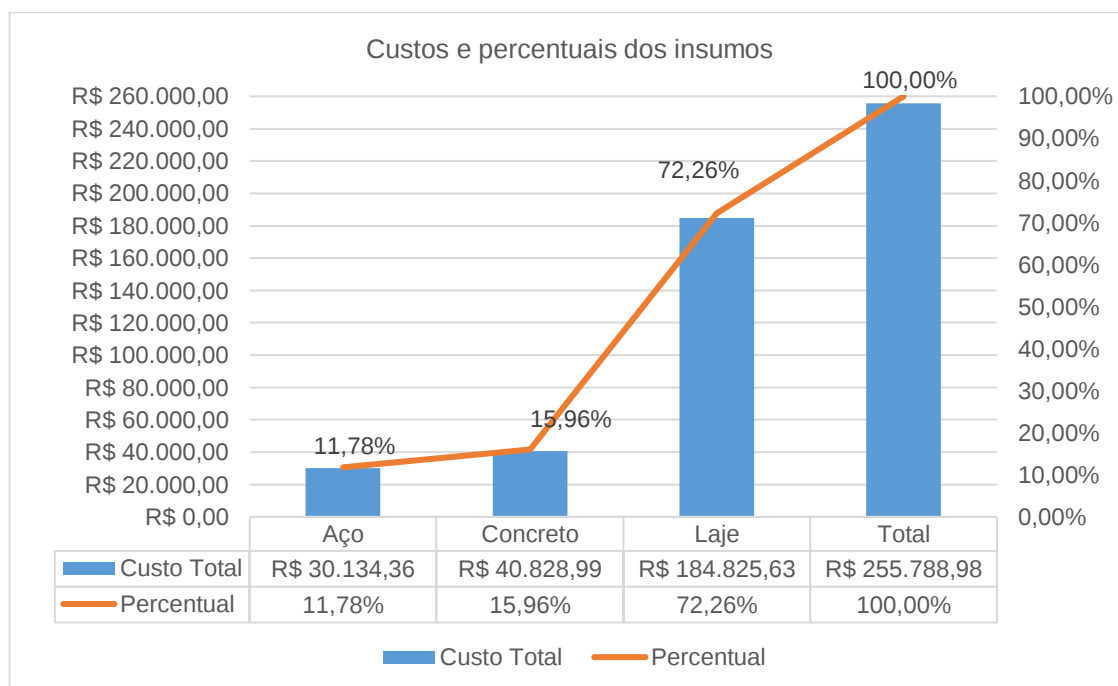
Tabela 24 - Custos totais das lajes treliçadas considerando 6 pavimentos.

Descrição	Unidade	Quant.	Custo Unitário (R\$/m²)	Custo Total (R\$)	Percentual (%)
Laje H8	m²	1050,48	149,63	157.183,89	61,45
Laje H12	m²	175,44	157,56	27.641,74	10,81
Aço CA-60 5,0 mm	kg	252,00	14,63	3.686,89	1,44
Aço CA-50 6,3 mm	kg	1086,00	14,41	15.652,42	6,12
Aço CA-50 8,0 mm	kg	36,00	13,97	502,95	0,20
Aço CA-50 10,0 mm	kg	762,00	12,74	9.704,65	3,79
Aço CA-50 12,5 mm	kg	54,00	10,88	587,46	0,23
CONCRETO	m³	68,64	594,83	40.828,99	15,96
			Total	255.788,98	100,00

Fonte: autoria própria (2022).

A Figura 34 apresenta o gráfico com os percentuais de cada insumo na composição dos custos totais das lajes treliçadas considerando 6 pavimentos.

Figura 34 - Gráfico: percentuais dos insumos e custos totais das lajes treliçadas em 6 pavimentos.



Fonte: autoria própria (2022).

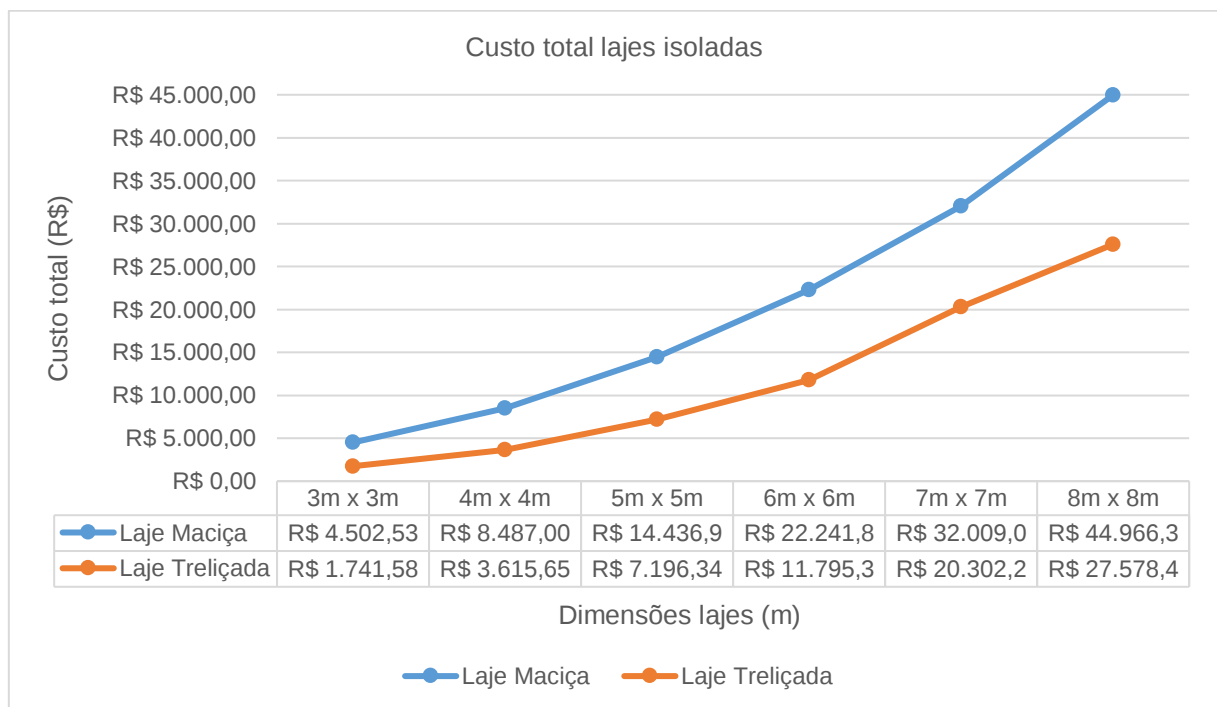
Da mesma forma que as lajes treliçadas em 4 pavimentos, observa-se no gráfico que o insumo que mais onerou os custos de produção das lajes treliçadas, considerando 6 pavimentos foi o próprio elemento pré-moldado, representando 72,26% dos custos totais, mudando somente os custos totais.

7.4 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

7.4.1 Lajes isoladas

O sistema com lajes treliçadas apresentou menor custo em todas as situações analisadas. Como neste caso não há reaproveitamento de fôrmas e as lajes maciças apresentaram um maior consumo de concreto e de aço, as lajes treliçadas prevaleceram no que diz respeito ao custo, muito embora demandassem também a aplicação de contra-flechas. Quando os vãos a vencer são relativamente grandes, as lajes maciças se tornam antieconômicas, uma vez que há um elevado consumo de concreto onde ele não tem eficácia estrutural, ou seja, na região tracionada da laje para o momento fletor positivo, acarretando em desperdício de material. A Figura 35 apresenta o gráfico com os custos totais das lajes isoladas.

Figura 35 - Gráfico: custos totais das lajes isoladas.



Fonte: autoria própria (2022).

7.4.2 Lajes do pavimento “tipo”

Os resultados obtidos permitem concluir que, para um edifício residencial multifamiliar de até 4 pavimentos, o sistema composto por laje treliçada pré-moldada é mais econômico, embora a diferença de custos seja pequena. À medida, entretanto, que se aumenta o número de pavimentos, há a possibilidade de um maior reaproveitamento de fôrmas, tornando-se a laje maciça mais viável em termos de custos. A Tabela 25 apresenta a diferença de custos entre ambos os sistemas de lajes.

Tabela 25 - Diferença de custos entre os sistema de lajes maciça e treliçada, considerando 4 e 6 pavimentos.

Laje	Nº de Pavimentos	Custo Total (R\$)	Diferença (%)
Maciça	4	174.994,45	2,62
Treliçada	4	170.525,99	
Maciça	6	246.796,48	3,64
Treliçada	6	255.788,98	

Fonte: autoria própria (2022).

Observa-se, que para um edifício com 4 pavimentos o sistema com lajes maciças é 2,62% mais oneroso. Já para um edifício com 6 pavimentos, o sistema com lajes treliçadas se torna 3,64% mais oneroso.

Para uma melhor elucidação dos resultados e confirmação da hipótese de que a inversão de custos consiste no maior reaproveitamento de fôrmas, à medida que se aumenta o número de pavimentos, comparou-se os custos de aquisição das lajes treliçadas e o seu sistema de escoramento com os custos de fôrmas e escoramento das lajes maciças. Na Tabela 26 são apresentados os custos dos insumos para laje maciça e laje treliçada, considerando 4 e 6 pavimentos.

Tabela 26 - Custos totais dos insumos considerando 4 e 6 pavimentos.

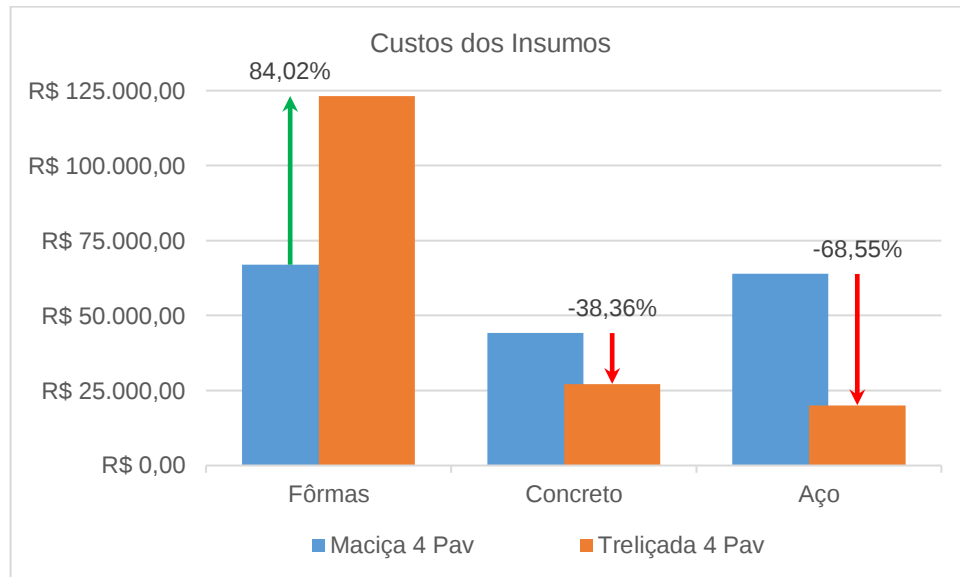
Laje	Maciça	Treliçada	Maciça	Treliçada
Nº de Pav.	4	4	6	6
Custo de Fôrmas (R\$)	66.958,43	123.217,09	84.742,45	184.825,63
Custo de Concreto (R\$)	44.160,21	27.219,32	66.240,32	40.828,99
Custo de Aço (R\$)	63.875,81	20.089,58	95.813,71	30.134,36

Fonte: elaborada pelo autor.

Na Figura 36 é possível observar a variação percentual de cada insumo entre as lajes maciças e treliçadas, ambas com 4 pavimentos. Observa-se, que o custo de

aquisição das lajes treliçadas e seu sistema de escoramento, considerando 4 pavimentos, é 84,02% mais oneroso do que o custo de fôrmas das lajes maciças em 4 pavimentos, enquanto que o concreto e o aço são 38,36% e 68,55%, respectivamente, menos onerosos em relação à laje maciça.

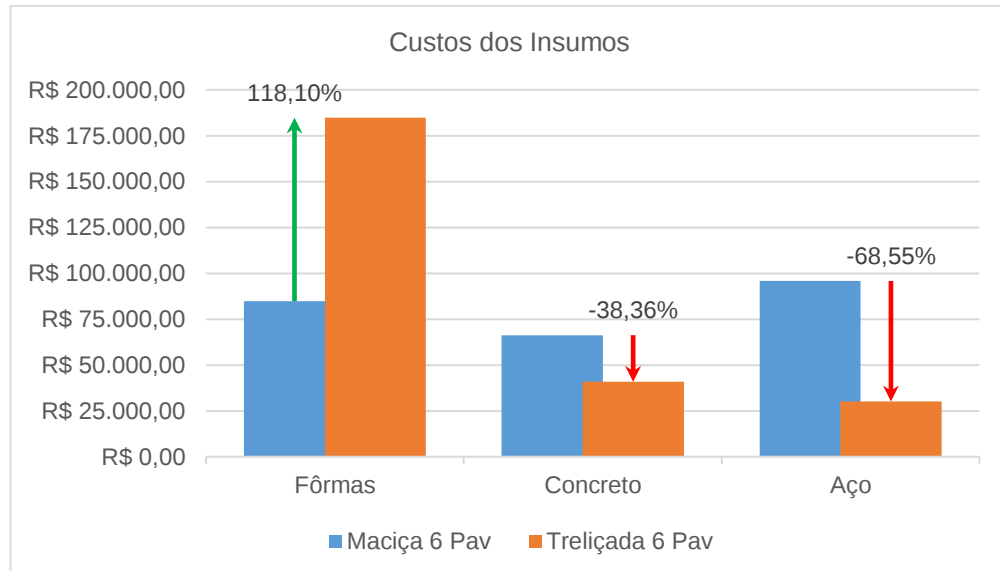
Figura 36 - Variação percentual de custos dos insumos, entre lajes maciças e treliçadas, considerando 4 pavimentos.



Fonte: autoria própria (2022).

Do mesmo modo, na Figura 37 é possível observar a variação percentual de cada insumo para lajes maciças e treliçadas, ambas com 6 pavimentos. Observa-se, que o custo de aquisição das lajes treliçadas e seu sistema de escoramento, considerando 6 pavimentos, é 118,10% mais oneroso do que o custo de fôrmas das lajes maciças em 4 pavimentos, enquanto que o concreto e o aço são 38,36% e 68,55%, respectivamente, menos onerosos em relação à laje maciça.

Figura 37 - Variação percentual de custos dos insumos, entre lajes maciças e treliçadas, considerando 6 pavimentos.

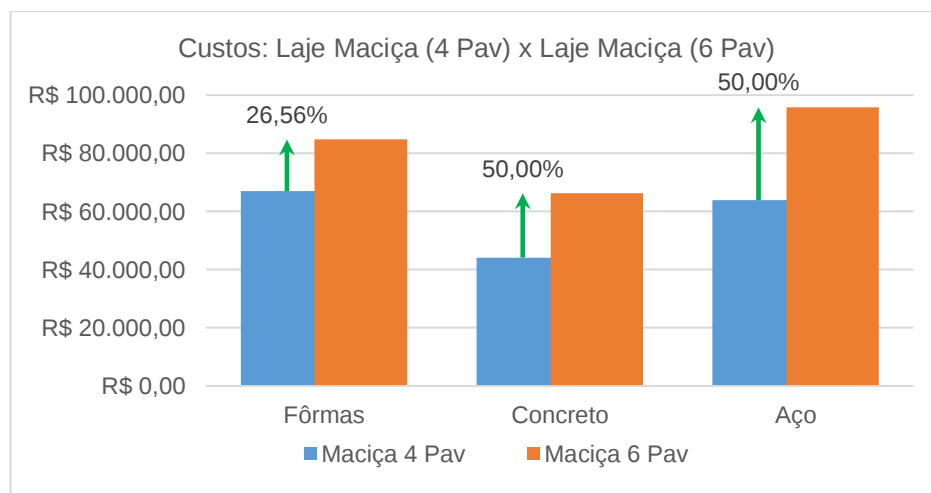


Fonte: autoria própria (2022).

Analisando os gráficos das Figuras 36 e 37, é possível observar que, embora a os custos de concreto e aço das lajes treliçadas sejam, respectivamente, 38,36% e 68,55% menos onerosos em relação às lajes maciças, não houve variação desses percentuais de 4 para 6 pavimentos. Já com relação às formas, as variações de custos são diferentes, sendo as lajes treliçadas 84,02% mais onerosas do que as lajes maciças, considerando 4 pavimentos, e 118,10%, considerando 6 pavimentos.

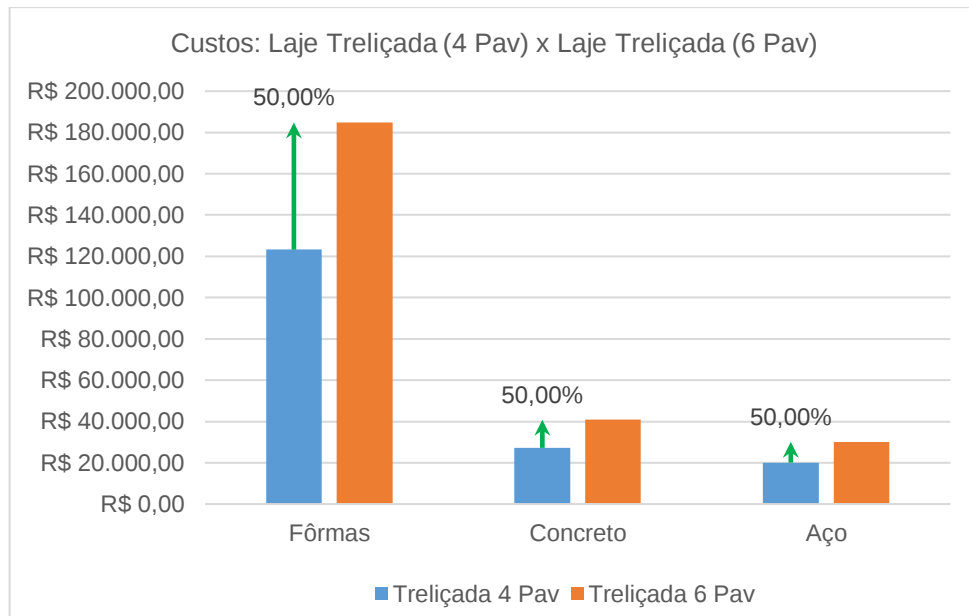
Além disso, comparou-se também os custos entre sistemas de lajes idênticos, só variando o número de pavimentos, como pode ser observado nas Figuras 38 e 39.

Figura 38 - Variação percentual de custos dos insumos entre lajes maciças de 4 e 6 pavimentos.



Fonte: autoria própria (2022).

Figura 39 - Variação percentual de custos dos insumos entre lajes treliçadas de 4 e 6 pavimentos.



Fonte: autoria própria (2022).

Observa-se, que enquanto o custo de fôrmas das lajes maciças aumentaram em 26,56% de 4 para 6 pavimentos, os custos das lajes treliçadas aumentaram em 50,00%. Já os custos de concreto e aço aumentaram em 50% de 4 para 6 pavimentos, em ambos os sistemas de lajes.

8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante dos resultados obtidos, conclui-se que para um edifício residencial multifamiliar de até 4 pavimentos, o sistema composto por laje treliçada é mais vantajoso economicamente devido, principalmente, à economia de fôrmas e à facilidade de execução, possibilitando, também, uma redução de custos com mão-de-obra, muito embora neste trabalho não tenham sido considerados os custos com o transporte vertical dos elementos pré-moldados, o que representaria um custo adicional ao sistema pré-moldado. É preciso ainda considerar que todas as lajes maciças passaram nas verificações do estado limite de serviço, não apresentando deformações excessivas, enquanto algumas treliçadas só passaram nas verificações considerando a aplicação de contra-flecha. Este serviço, de execução de contra-flecha, também não avaliado neste trabalho, representaria, igualmente, um custo adicional ao sistema pré-moldado.

Porém, à medida que se acrescenta mais pavimentos à edificação, diminui-se o consumo de fôrmas, devido ao maior reaproveitamento, tornando o sistema composto por lajes maciças mais vantajoso economicamente, como se evidenciou na composição de custos considerando 6 pavimentos. Com base nos resultados obtidos, recomenda-se que, em estudos futuros, sejam avaliados também os custos com a fundação, tendo em vista que o peso próprio das lajes treliçadas é consideravelmente inferior ao das lajes maciças, promovendo um alívio de tensões na superestrutura e infraestrutura, contribuindo, também, para a obtenção de uma fundação mais econômica.

Com relação às lajes isoladas, para as quais foram consideradas um único pavimento, embora o sistema com lajes treliçadas tenham apresentado menor custo, talvez o mais indicado para situações com grandes vãos a vencer seja o emprego de lajes nervuradas moldadas no local ou então lajes treliçadas com vigotas protendidas, ficando também, como sugestão para estudos futuros, uma análise comparativa entre esses sistemas de lajes.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARAÚJO, José Milton de. **Curso de concreto armado**. 4.ed. Rio Grande, RS: Editora DUNAS, 2014. v. 2.

ARCELORMITTAL. **Manual Técnico de Lajes Treliçadas**, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14859-1**: Laje pré-fabricada – Requisitos Parte 1: Lajes Unidirecionais. Rio de Janeiro, 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12721**: Avaliação de custos unitários de construção para incorporação mobiliária e outras para condomínios edilícios – Procedimento. Rio de Janeiro, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118**: Projeto de Estruturas de Concreto – Procedimento. Rio de Janeiro, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6120**: Ações para o cálculo de estruturas de edificações. Rio de Janeiro, 2019.

BASTOS. P.S.S. **Lajes de Concreto Armado**: notas de aula. Bauru, SP: UNESP, 2021.

BRASIL. **Lei nº 13.303, de 30 de junho de 2016**. Dispõe sobre o estatuto jurídico da empresa pública, da sociedade de economia mista e de suas subsidiárias, no âmbito da União, dos Estados, do Distrito Federal e dos Municípios. Brasília, DF. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2016/lei/l13303.htm.>. Acesso em: 07 jul. 2022.

_____. **Decreto 7.893, de 8 de abril de 2013**. Estabelece regras e critérios para elaboração do orçamento de referência de obras e serviços de engenharia, contratados e executados com recursos dos orçamentos da União, e dá outras providências. Brasília, DF. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2013/decreto/d7983.htm.>. Acesso em: 07 jul. 2022.

CARVALHO, R.C.; PINHEIRO, L.M. **Cálculo e detalhamento de estruturas usuais de concreto armado**. São Paulo: PINI, 2009. v.1.

CARVALHO, R.C.; FIGUEIREDO FILHO, J.R. **Cálculo e detalhamento de estruturas usuais de concreto armado** – segundo a NBR 6118:2014. 4. ed. São Carlos: EdUSFCar, 2014.

CUNHA, M. O. **Recomendações para projeto de lajes formadas por vigotas com armação treliçada**. 2012. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Estruturas – Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo. São Carlos, 2012.

DROPPA JÚNIOR, A. **Análise estrutural de lajes formadas por elementos pré-moldados tipo vigota com armação treliçada**. 1999. Dissertação (Mestrado em Engenharia das Estruturas) – Escola de Engenharia de São Carlos. São Carlos, 1999.

FLÓRIO, M.C. **Projeto e execução de lajes unidirecionais com vigotas em concreto armado**. 2004. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) – Universidade Federal de São Carlos. São Carlos, 2004.

FONTES, F.F.; PINHEIRO, L.M. **Tipos de Análise Estrutural para elementos lineares segundo a NBR 6118:2003**. Cadernos de Engenharia de Estruturas, São Carlos, v.11, n. 48, p. 117-141, 2009. ISSN 1809-5860.

GUESSI, D. E. **Análise de lajes maciças em concreto armado com plastificação**. 2017. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2017.

GONTIJO, G. B. **Cálculo e análise dos momentos fletores em lajes de concreto armado**. 2015. Monografia (Especialização em Estruturas) – Escola de Engenharia, Departamento de Engenharia de Estruturas, Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2015.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Disponível em: < <https://www.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 07 jul. 2022.

MATTOS, A. D. **Como preparar orçamento de obras**: dicas para orçamentistas, estudos de casos, exemplos. São Paulo: PINI, 2006.

NAPPI, S.C.B. **Análise comparativa entre lajes maciças, com vigotes pré-moldados e nervuradas.** 1993. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 1993.

PINHEIRO, L. M. **Concreto armado: tabelas e ábacos.** São Carlos, Escola de Engenharia de São Carlos - USP, Departamento de Engenharia de Estruturas, 1994.

QUEIROZ, R.C. **Introdução à engenharia civil:** história, principais áreas e atribuições da profissão. São Paulo: Blucher, 2019.

REIS, E.M. **Análise de pavimentos de edifícios utilizando a analogia de grelha.** 2007. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2007.

SISTEMA NACIONAL DE PESQUISA DE CUSTOS E INDÍCES DA CONSTRUÇÃO CIVIL (SINAPI). 2022. Disponível em: <https://www.caixa.gov.br/site/Paginas/downloads.aspx#categoria_648>. Acesso em: 31 de maio de 2022.

TQS INFORMÁTICA. **Sistema CAD/TQS – Manual do Usuário.** São Paulo, 2022.

VIZOTTO, I.; SARTORI, A. L. Soluções de lajes maciças, nervuradas com cuba plástica e nervuradas com vigotas treliçadas pré-moldadas: análise comparativa. **Teoria e Prática na Engenharia Civil**, n.15, p.19-28, Abril, 2010.

WERNER, B.V; VARGAS, A. Análise comparativa entre diferentes métodos de cálculo para o dimensionamento de lajes maciças bidirecionais. **Revista Iniciação Científica**, v. 11, n. 1, 2013, Criciúma, Santa Catarina. ISSN 1678-7706.

APÊNDICE A – Custo da laje maciça isolada 8m x 8m

CÓDIGO		COMPOSIÇÃO DE CUSTO UNITÁRIO: FÔRMA					
92482		MONTAGEM E DESMONTAGEM DE FÔRMA DE LAJE MACIÇA, PÉ-DIREITO SIMPLES, EM MADEIRA SERRA, 1 UTILIZAÇÃO. AF_09/2020	M²	COEF.	CUSTO UNIT.	CUSTO TOTAL	%
I	2692	Desmoldante protetor para formas de madeira, de base oleosa emulsionada em água	l	0,0170	5,51	0,09	0,02
I	10749	Tábua não aparelhada *2,5 X 20* cm, em maçaramduba, angelim ou equivalente da região - bruta	m	3,8260	32,47	124,23	28,62
I	40270	Prego de aço polido com cabeça dupla 17 X 27 (2 1/2 X 11)	kg	0,0810	26,62	2,16	0,50
C	88239	Ajudante de carpinteiro com encargos complementares	h	0,7300	17,87	13,05	3,01
C	88262	Carpinteiro de formas com encargos complementares	h	3,9790	22,12	88,02	20,28
C	92271	Fabricação de formas para laje, em madeira serra, E=25 mm. AF_09/2020	m²	1,0200	183,05	186,71	43,02
C	92267	Fabricação de escoras do tipo pontalete, em madeira, para pé-direito simples. AF_09/2020	m²	1,3480	14,65	19,75	4,55
					TOTAL	434,00	100,00

CÓDIGO		COMPOSIÇÃO DE CUSTO UNITÁRIO: CONCRETO					
103675		CONCRETAGEM DE VIGAS E LAJES, FCK=25 MPA, PARA LAJES MACIÇAS OU NERVURADAS COM USO DE BOMBA - LANÇAMENTO, ADENSAMENTO E ACABAMENTO. AF_12/2015	M³	COEF.	CUSTO UNIT.	CUSTO TOTAL	%
I	1527	Concreto usinado bombeável, classe de resistência C30, com brita 0 e 1, slump = 100 +/- 20 mm, inclui serviço de bombeamento (NBR 8953)	m³	1,1030	495,00	545,99	94,26
C	88262	Carpinteiro de formas com encargos complementares	h	0,1250	22,12	2,77	0,48
C	88309	Pedreiro com encargos complementares	h	0,7530	22,37	16,84	2,91
C	88316	Servente com encargos complementares	h	0,8260	16,21	13,39	2,31
C	90586	Vibrador de imersão, diâmetro de ponteira 45mm, motor elétrico trifásico, potência de 2 cv - chp diurno. AF_06/2015	CHP	0,1200	1,44	0,17	0,03
C	90587	Vibrador de imersão, diâmetro de ponteira 45mm, motor elétrico trifásico, potência de 2 cv - chi diurno. AF_06/2015	CHI	0,1310	0,53	0,07	0,01
					TOTAL	579,23	100,00

CÓDIGO		COMPOSIÇÃO DE CUSTO UNITÁRIO: AÇO CA-50 – 8,0 mm					
92770		ARMAÇÃO DE LAJE DE UMA ESTRUTURA CONVENCIONAL DE CONCRETO ARMADO EM UM EDIFÍCIO DE MÚLTIPLOS PAVIMENTOS UTILIZANDO AÇO CA-50 DE 8.0 MM - MONTAGEM. AF_12/2015_P	KG	COEF.	CUSTO UNIT.	CUSTO TOTAL	%
I	39017	Espaçador / distanciador circular com entrada lateral, em plástico, para vergalhão *4,2 a 12,5* mm, cobrimento 20 mm	Un	0,7280	0,21	0,15	1,09
I	43132	Arame recozido 18 bwg, 1,25 mm (0,01kg/m)	kg	0,0250	26,90	0,67	4,81
C	88238	Ajudante de armador com encargos complementares	h	0,0078	16,55	0,13	0,92
C	88245	Armador com encargos complementares	h	0,0475	22,24	1,06	7,56
C	92802	Corte e dobra de aço CA-50, diâmetro de 8,0 mm, utilizado em laje. AF_12/2015	kg	1,0000	11,96	11,96	85,61
					TOTAL	13,97	100,00

CÓDIGO		COMPOSIÇÃO DE CUSTO UNITÁRIO: AÇO CA-50 – 10,0 mm					
92771		ARMAÇÃO DE LAJE DE UMA ESTRUTURA CONVENCIONAL DE CONCRETO ARMADO EM UM EDIFÍCIO DE MÚLTIPLOS PAVIMENTOS UTILIZANDO AÇO CA-50 DE 10.0 MM - MONTAGEM. AF 12/2015 P	KG	COEF.	CUSTO UNIT.	CUSTO TOTAL	%
I	39017	Espaçador / distanciador circular com entrada lateral, em plástico, para vergalhão *4,2 a 12,5* mm, cobrimento 20 mm	Un	0,3570	0,21	0,07	0,59
I	43132	Arame recozido 18 bwg, 1,25 mm (0,01 kg/m)	kg	0,0250	26,90	0,67	5,28
C	88238	Ajudante de armador com encargos complementares	h	0,0057	16,55	0,09	0,74
C	88245	Armador com encargos complementares	h	0,0348	22,24	0,77	6,08
C	92800	Corte e dobra de aço CA-60, diâmetro de 10,0 mm, utilizado em laje. AF 12/2015	kg	1,0000	11,12	11,12	87,31
					TOTAL	12,74	100,00

CUSTO TOTAL				
DESCRIÇÃO	UN.	QUANTIDADE	CUSTO UNITÁRIO	CUSTO TOTAL
FORMA	m²	60,84	434,00	26404,55
CONCRETO	m³	12,78	579,23	7402,51
AÇO CA-50 8,0 mm	kg	126,00	13,97	1760,33
AÇO CA-50 10,0 mm	kg	738,00	12,74	9398,99
			TOTAL	R\$ 44.966,38

APÊNDICE B – Custo da laje treliçada isolada 8m x 8m

CÓDIGO		COMPOSIÇÃO DE CUSTO UNITÁRIO: FÔRMA					
101963		LAJE PRÉ-MOLDADA UNIDIRECIONAL, BIAPOIADA, ENCHIMENTO EM EPS, VIGOTA TRELIÇADA, ALTURA TOTAL DA LAJE (ENCHIMENTO+CAPA) = (25+5). AF 11/2020	M²	COEF.	CUSTO UNIT.	CUSTO TOTAL	%
I	3746	Laje pré-moldada treliçada (lajotas + vigotas) para piso, unidirecional, sobrecarga de 300 kg/m², vão até 6,00 m (sem colocação)	m²	1,0000	221,00	221,00	70,42
I	6193	Tábua não aparelhada 2,5 x 20 cm em maçaramduba, angelim ou equivalente da região - bruta	m	1,8700	32,47	60,72	19,35
I	40304	Prego de aço polido com cabeça dupla 17 x 27 (2 1/2 x 11)	kg	0,0400	26,62	1,06	0,34%
C	88262	Carpinteiro de formas com encargos complementares	h	0,5010	22,12	11,08	3,53
C	88316	Servente com encargos complementares	h	0,3540	16,21	5,74	1,83
I	92273	Fabricação de escoras do tipo pontalete, em madeira, para pé-direito simples. AF_09/2020	m	0,9700	14,65	14,21	4,53
					TOTAL	313,81	100,00

CÓDIGO		COMPOSIÇÃO DE CUSTO UNITÁRIO: CONCRETO					
103674		CONCRETAGEM DE VIGAS E LAJES, FCK=25 MPA, PARA LAJES PRÉ-MOLDADAS COM USO DE BOMBA - LANÇAMENTO, ADENSAMENTO E ACABAMENTO. AF_12/2015	M³	COEF.	CUSTO UNIT.	CUSTO TOTAL	%
I	1527	Concreto usinado bombeável, classe de resistência C30, com brita 0 e 1, slump = 100 +/- 20 mm, inclui serviço de bombeamento (NBR 8953)	m³	1,1030	495,00	545,99	91,79%
C	88262	Carpinteiro de formas com encargos complementares	h	0,1860	22,12	4,11	0,69%
C	88309	Pedreiro com encargos complementares	h	1,1190	22,37	25,03	4,21%
C	88316	Servente com encargos complementares	h	1,1920	16,21	19,32	3,25%
C	90586	Vibrador de imersão, diâmetro de ponteira 45mm, motor elétrico trifásico, potência de 2 cv - chp diurno. AF_06/2015	CHP	0,1940	1,44	0,28	0,05%
C	90587	Vibrador de imersão, diâmetro de ponteira 45mm, motor elétrico trifásico, potência de 2 cv - chi diurno. AF_06/2015	CHI	0,1790	0,53	0,09	0,02%
					TOTAL	594,83	100,00

CÓDIGO		COMPOSIÇÃO DE CUSTO UNITÁRIO: AÇO CA-50 – 6.3 mm					
92769		ARMAÇÃO DE LAJE DE UMA ESTRUTURA CONVENCIONAL DE CONCRETO ARMADO EM UM EDIFÍCIO DE MÚLTIPLOS PAVIMENTOS UTILIZANDO AÇO CA-50 DE 6.3 MM - MONTAGEM. AF_12/2015_P	KG	COEF.	CUSTO UNIT.	CUSTO TOTAL	%
I	39017	Espaçador / distanciador circular com entrada lateral, em plástico, para vergalhão *4,2 a 12,5* mm, cobrimento 20 mm	Un	1,3330	0,21	0,28	1,94%
I	43132	Arame recozido 18 bwg, 1,25 mm (0,01kg/m)	kg	0,0250	26,90	0,67	4,67%
C	88238	Ajudante de armador com encargos complementares	h	0,0105	16,55	0,17	1,21%
C	88245	Armador com encargos complementares	h	0,0646	22,24	1,44	9,97%
C	92802	Corte e dobra de aço CA-50, diâmetro de 6.3 mm, utilizado em laje. AF_12/2015	kg	1,000	11,85	11,85	82,22%
					TOTAL	14,41	100,00

CÓDIGO		COMPOSIÇÃO DE CUSTO UNITÁRIO: AÇO CA-50 – 12.5 mm					
92769		ARMAÇÃO DE LAJE DE UMA ESTRUTURA CONVENCIONAL DE CONCRETO ARMADO EM UM EDIFÍCIO DE MÚLTIPLOS PAVIMENTOS UTILIZANDO AÇO CA-50 DE 12.5 MM - MONTAGEM. AF 12/2015 P	KG	COEF.	CUSTO UNIT.	CUSTO TOTAL	%
I	39017	Espaçador / distanciador circular com entrada lateral, em plástico, para vergalhão *4,2 a 12,5* mm, cobrimento 20 mm	Un	0,1470	0,21	0,03	0,28%
I	43132	Arame recozido 18 bwg, 1,25 mm (0,01kg/m)	kg	0,0250	26,90	0,67	6,18%
C	88238	Ajudante de armador com encargos complementares	h	0,0040	16,55	0,07	0,61%
C	88245	Armador com encargos complementares	h	0,0247	22,24	0,55	5,05%
C	92802	Corte e dobra de aço CA-50, diâmetro de 12.5 mm, utilizado em laje. AF 12/2015	kg	1,0000	9,56	9,56	87,88%
					TOTAL	10,88	100,00

CUSTO TOTAL				
DESCRIÇÃO	UN.	QUANTIDADE	CUSTO UNITÁRIO	CUSTO TOTAL
LAJE H25	m²	64,4	313,81	20209,6641
AÇO CA-60 6,3 mm	kg	38	14,41	547,690542
AÇO CA-60 12,5 mm	kg	288,00	10,88	3133,12
CONCRETO	m³	6,20	594,83	3687,93
			TOTAL	R\$ 27.578,41