

INSTITUTO FEDERAL

Goiano

Campus Rio Verde

ENGENHARIA CIVIL

**ANÁLISE PARAMÉTRICA E COMPARATIVA DO CUSTO E
ESFORÇOS ENTRE OS MODELOS ESTRUTURAIS LAJE
LISA E LAJE MACIÇA**

PETERSON SAMPAIO

Rio Verde - GO

Junho, 2021

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
GOIANO – CÂMPUS RIO VERDE**

ENGENHARIA CIVIL

**ANÁLISE PARAMÉTRICA E COMPARATIVA DO CUSTO E
ESFORÇOS ENTRE OS MODELOS ESTRUTURAIS LAJE LISA E
LAJE MACIÇA**

PETERSON SANTANA FEITOSA SAMPAIO

Trabalho de Curso apresentado ao Instituto Federal Goiano
– Câmpus Rio Verde, como requisito parcial para obtenção
do Grau de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Marcel Willian Reis Sales

Rio Verde - GO
Junho, 2021

Sistema desenvolvido pelo ICMC/USP
Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema Integrado de Bibliotecas - Instituto Federal Goiano

S192a Sampaio, Peterson Santana Feitosa
Análise paramétrica e comparativa do custo e esforços entre os modelos estruturais laje lisa e laje maciça / Peterson Santana Feitosa Sampaio; orientador Dr. Marcel Willian Reis Sales. -- Rio Verde, 2021.
60 p.

TCC (Graduação em Engenharia civil) -- Instituto Federal Goiano, Campus Rio Verde, 2021.

1. Modelos estruturais. 2. Lajes lisas. 3. Lajes maciças. I. Sales, Dr. Marcel Willian Reis, orient.
II. Título.

TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAR PRODUÇÕES TÉCNICO-CIENTÍFICAS NO REPOSITÓRIO INSTITUCIONAL DO IF GOIANO

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610/98, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, a disponibilizar gratuitamente o documento no Repositório Institucional do IF Goiano (RIIF Goiano), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, em formato digital para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IF Goiano.

Identificação da Produção Técnico-Científica

- | | |
|--|---|
| <input type="checkbox"/> Tese | <input type="checkbox"/> Artigo Científico |
| <input type="checkbox"/> Dissertação | <input type="checkbox"/> Capítulo de Livro |
| <input type="checkbox"/> Monografia – Especialização | <input type="checkbox"/> Livro |
| <input checked="" type="checkbox"/> TCC - Graduação | <input type="checkbox"/> Trabalho Apresentado em Evento |
| <input type="checkbox"/> Produto Técnico e Educacional - Tipo: _____ | |

Nome Completo do Autor:

Matrícula:

Título do Trabalho:

Restrições de Acesso ao Documento

Documento confidencial: Não Sim, justifique: _____

Informe a data que poderá ser disponibilizado no RIIF Goiano: 21/07/2021

O documento está sujeito a registro de patente? Sim Não

O documento pode vir a ser publicado como livro? Sim Não

DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

O/A referido/a autor/a declara que:

- o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
- obteve autorização de quaisquer materiais inclusos no documento do qual não detém os direitos de autor/a, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;
- cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano.

Rio Verde 21/07/21
Local Data

Peteron J. S. Sampaio
Assinatura do Autor e/ou Detentor dos Direitos Autorais

Ciente e de acordo:

Marcos Wilson Reis Sales
Assinatura do(a) orientador(a)



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO

Ata nº 83/2021 - GGRAD-RV/DE-RV/CMPRV/IFGOIANO

ATA DE DEFESA DE TRABALHO DE CURSO

Ao(s) 01 dia(s) do mês de junho de 2021, às 11 horas e cinco minutos, reuniu-se a banca examinadora composta pelos docentes: Marcel Willian Reis Sales, Bruna Oliveira Campos, Michell Macedo Alves, para examinar o Trabalho de Curso intitulado "Análise paramétrica e comparativa do custo e esforços entre os modelos estruturais laje lisa e laje maciça" do(a) estudante Peterson Santana Feitosa Sampaio Matrícula nº 2015102200840363 do Curso de Engenharia Civil do IF Goiano - Campus Rio Verde. A palavra foi concedida ao(a) estudante para a apresentação oral do TC, houve arguição do(a) candidato pelos membros da banca examinadora. Após tal etapa, a banca examinadora decidiu pela APROVAÇÃO do(a) estudante. Ao final da sessão pública de defesa foi lavrada a presente ata que segue assinada pelos membros da Banca Examinadora.

(Assinado Eletronicamente)

Marcel Willian Reis Sales

Orientador(a)

(Assinado Eletronicamente)

Bruna Oliveira Campos

Membro

(Assinado Eletronicamente)

Michell Macedo Alves

Membro

Observação:

() O(a) estudante não compareceu à defesa do TC.

Documento assinado eletronicamente por:

- Bruna Oliveira Campos, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 01/06/2021 15:55:49.
- Michell Macedo Alves, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 01/06/2021 13:36:43.
- Marcel Willian Reis Sales, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 01/06/2021 13:22:37.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 01/06/2021. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifgoiano.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 275023

Código de Autenticação: 87fe4966cc



INSTITUTO FEDERAL GOIANO
Campus Rio Verde
Rodovia Sul Goiana, Km 01, Zona Rural, None, RIO VERDE / GO, CEP 75901-970
(64) 3620-5600

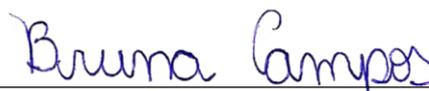
PETERSON SANTANA FEITOSA SAMPAIO

**ANÁLISE PARAMÉTRICA E COMPARATIVA DO CUSTO E
ESFORÇOS ENTRE OS MODELOS ESTRUTURAIS LAJE LISA E
LAJE MACIÇA**

Trabalho de Curso DEFENDIDO e APROVADO em 01 de junho de 2021, pela Banca Examinadora constituída pelos membros:

MICHELL MACEDO Assinado de forma digital
por MICHELL MACEDO
ALVES:040503316 ALVES:04050331683
83 Dados: 2021.07.12 22:25:00
-03'00'

Prof. Dr. Michell Macedo Alves
Instituto Federal de educação, Ciência e
Tecnologia Goiano – Campus Rio verde



Prof (a). Me. Bruna Oliveira Campos
Instituto Federal de educação, Ciência e
Tecnologia Goiano – Campus Rio verde



Prof. Dr. Marcel Willian Reis Sales
Instituto Federal de educação, Ciência e
Tecnologia Goiano – Campus Rio verde

Rio Verde – GO
Junho, 2021

Dedico este trabalho a minha irmã Cibelle,
e especialmente aos meus pais, Edimilson e Shyrlene,
que sempre me incentivaram e apoiaram em todas
minhas escolhas e principalmente a de ser o Engenheiro Civil.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por estar sempre guiando meu caminho e me concedendo a saúde necessária para percorre-lo.

Agradeço ao Prof. Marcel Willian Reis Sales, orientador deste trabalho, pela paciência e pelos conhecimentos de grande valia repassados para a elaboração deste trabalho.

Agradeço a todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho, e que me auxiliaram durante a vida acadêmica contribuindo não só na minha formação profissional como também na formação enquanto pessoa.

RESUMO

SAMPAIO, P. S. F. **Análise paramétrica e comparativa do custo e esforços entre os modelos estruturais laje lisa e laje maciça.** 2021. Monográfica (Curso de Engenharia Civil). Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia Goiano – Campus Rio Verde, Rio Verde, GO, 2018.

O projetista estrutural em engenharia civil deve escolher métodos construtivos que sejam seguros e econômicos. No caso de lajes existem diversos métodos construtivos, como lajes maciças, lisas, treliçadas etc. Neste sentido, este trabalho visa comparar parametricamente as lajes maciças com lisas. A parametrização é feita modificando o tamanho dos vãos da laje que iniciou com vão de 2,0 m, e aumenta-se de 0,5 m em 0,5 m até o vão de 6 m. Para cada vão foi dimensionada uma laje lisa, pelo método direto, avaliando sempre os momentos fletores, flechas, consumo de concreto, consumo de aço e custo total, desprezando a presença das vigas nas maciças e da mão de obra e formas nas duas lajes. Para cada tratamento, tipos de lajes e vãos, avaliou-se as variáveis momentos fletores, flechas, consumo de concreto, consumo de aço e custo total. Este trabalho baseou-se em Campos (2018) para o estudo da laje maciça, com a ressalva de que variou-se os vãos nos dois sentidos (X e Y). Evidentemente, que a presença das vigas, formas e mão de obra podem impactar nas análises. Contudo, conclui-se que as lajes maciças foram consideradas menos flexíveis e de menor custos a medida em quem se aumentava o vão. No caso das lajes maciças flechas, momentos e consumo de concreto encontrou-se o mesmo resultado, ou seja, foram menores para laje maciça a medida em que se aumentou o vão. Chama-se atenção para o consumo de aço, que foi menor para laje maciça, mas com menor diferença que os outros parâmetros analisados. Desta forma, sugere-se fortemente que seja avaliado a presença das vigas nas maciças, e, assim, verificar o consumo verdadeiro de material.

Palavras chave: modelos estruturais, lajes lisas, lajes maciças.

ABSTRACT

The structural designer in civil engineering must choose construction methods that are safe and economical. In the case of slabs, there are several construction methods, such as solid, smooth, lattice slabs, etc. In this sense, this work aims to parametrically compare solid and smooth slabs. Parameterization is done by modifying the size of the spans of the slab that started with a span of 2.0 m, and increases from 0.5 m to 0.5 m until the span of 6 m. For each span, a flat slab was dimensioned by the direct method, always evaluating the bending moments, arrows, concrete consumption, steel consumption and cost, disregarding the presence of the beams in the massifs and the labor and shapes in the two slabs. For each treatment, types of slabs and spans, the variables bending moments, arrows, concrete consumption, steel consumption and total cost were evaluated. This work was based on Campos (2018) for the study of the solid slab with the exception that the spans were varied in both directions (X and Y). Evidently, the presence of beams, shapes and labor can impact the analysis. However, it is concluded that the massive slabs were considered less flexible and of lower costs as the span increased. In the case of arrows, moments and concrete consumption, the same result was found, that is, they were smaller for massive slabs as the span increased. Attention is drawn to steel consumption, which was smaller for solid slab, but with a smaller difference than the other analyzed parameters. In this way, it is strongly suggested that the presence of beams be evaluated in the massifs, and, thus, verify the true consumption of material.

Keywords: structural models, smooth slabs, solid slabs.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Distribuição do momento na faixa do pilar	20
Tabela 2 : Limites para deslocamentos.....	22
Tabela 3 : Valores de l_x e l_y para verificação dos esforços na laje.....	37
Tabela 4 : Preços unitários dos materiais	39
Tabela 5 : Momentos fletores máximos (kN.m).....	40
Tabela 6 : Flechas máximas (mm).....	41
Tabela 7 : Quantitativo de aço (kg)	43
Tabela 8 : Quantitativo de concreto (m ³).....	44
Tabela 9 : Orçamento para laje com vão de 2 metros.....	55
Tabela 10 : Orçamento para laje com vão de 2,5 metros.....	55
Tabela 11 : Orçamento para laje com vão de 3 metros.....	56
Tabela 12 : Orçamento para laje com vão de 3,5 metros.....	56
Tabela 13 : Orçamento para laje com vão de 4 metros	57
Tabela 14 : Orçamento para laje com vão de 4,5 metros	57
Tabela 15 : Orçamento para laje com vão de 5 metros	58
Tabela 16 : Orçamento para laje com vão de 5,5 metros.....	58
Tabela 17 : Orçamento para laje com vão de 6 metros	59

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Edifício construído com lajes lisas	14
Figura 2: Simplificação da faixa de laje	17
Figura 3: Seções quadradas equivalentes para pilares circulares ou poligonais	18
Figura 4: Planta mostrando os tipos de pilares para identificar os vãos.....	19
Figura 5: Representação da faixa dos pilares e centrais	20
Figura 6: Modelo de laje maciça	24
Figura 7: Laje maciça sendo armada.....	24
Figura 8: Vinculações das lajes	26
Figura 9: Altura para lajes maciças	27
Figura 10: Laje maciça em construção.....	29
Figura 11: Laje treliçada em construção com EPS.....	30
Figura 12: Planta de arquitetura do pavimento exemplo.....	31
Figura 13: Teto do pavimento exemplo (estrutura convencional)	32
Figura 14: Teto do pavimento exemplo (estrutura de laje lisa).....	33
Figura 15: Fachada do edifício-exemplo.....	34
Figura 16: Planta da laje do edifício em 3D	35
Figura 17: Planta de fôrmas	36
Figura 18: Planta de fôrmas respeitando o método direto.....	37
Figura 19: Comparativo de momentos fletores máximos de acordo com o vão	41
Figura 20: Comparativo de flechas máximas em função do vão	42
Figura 21: Comparativo de consumo de aço em função do vão	44
Figura 22: Comparativo de consumo de concreto em função do vão	45
Figura 23: Comparativo dos custos da laje maciça e da laje lisa em função do vão.....	46

LISTA DE ABREVIACOES E SÍMBOLOS

M_0	Momento total de referência;
g	Ações devido a cargas permanentes;
q	Ações devido a cargas variáveis;
γ_{conc}	Peso específico do concreto;
h	Altura da laje;
g_2	Carga do revestimento;
γ_{rev}	Peso específico do revestimento;
h_r	Espessura do revestimento;
P	Carga total calculada;
g'	Ao devido a carga permanente no menor vão;
l'_2	Dimensão da faixa no menor vão;
l'_n	Distância entre as faces dos pilares no menor vão;
M	Momento de referência nos pilares;
p	Carregamento uniformemente distribuído sobre a laje;
α	Coefficiente para cálculo de flechas elásticas em lajes retangulares;
l_x	Menor vo da laje;
a	Flecha;
n	Número de barras por metro;
s	Espaçamento entre as barras;
d	Altura útil da laje;
λ	Fator de relação entre as dimensões da laje;
m_x	Momento máximo positivo na direção x;
m_y	Momento máximo positivo na direção y;
X_x	Momento máximo negativo na direção x;
X_y	Momento máximo negativo na direção y;
KMD	Parâmetro adimensional;
M_d	Momento de projeto;
A_s	área de aço;
A_\emptyset	área da seção da barra;

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
1.1	Justificativa e relevância	13
1.2	Objetivos.....	13
1.2.1	Objetivo geral.....	13
1.2.2	Objetivos específicos	13
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	14
2.1	Laje lisa.....	14
2.1.1	Procedimento de cálculo.....	15
2.1.2	Carga total atuante	16
2.1.3	Momento total de referência para um vão	17
2.1.4	Momentos de referências positivo e negativos.....	18
2.1.5	Momento de referência nos pilares	19
2.1.6	Distribuição dos momentos positivos e negativos na laje.....	20
2.1.7	Verificação das flechas	21
2.1.8	Detalhamento da armadura	22
2.2	Lajes maciças	23
2.2.1	Procedimento de cálculo.....	25
2.2.2	Condições de vinculação das lajes	25
2.2.3	Pré-dimensionamento das alturas das lajes.....	26
2.2.4	Ações atuantes	28
2.2.5	Verificação das flechas	28
2.2.6	Momentos fletores solicitantes	28
2.2.7	Detalhamento da armadura	29
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	29
3.1	Trabalho da Campos (2018)	29

3.2	Trabalho do Smiriglio (2015)	31
3.3	Trabalho do Faria (2010)	34
3.4	Trabalho do Doppelreiter (2015)	35
4	METODOLOGIA	36
4.1	Cálculo Laje Maciça	38
4.2	Cálculo Laje Lisa	38
4.3	Comparativo de custos	39
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	40
5.1	Momentos Fletores e Flechas Máximas	40
5.2	Quantitativo de Aço e Concreto	43
5.3	Orçamento	46
6	CONCLUSÕES	47
7	TRABALHOS FUTUROS	47
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	48
	ANEXO A	50
	APÊNDICE A	55

1 INTRODUÇÃO

Devido às diversas formas de construção, engenheiros projetistas têm de decidir qual metodologia construtiva deve ser aplicada em determinado empreendimento. Esta decisão depende de diversos fatores, como por exemplo: a cultura local, o conhecimento dos executantes, os custos do concreto, do aço e das formas. E neste sentido que este trabalho visa auxiliar na escolha entre duas lajes, a maciça e a lisa.

Contudo, deve-se saber que não será levado em conta os custos das vigas, formas das lajes e mão de obra empregada. Embora, estes custos não sejam levados em consideração, este trabalho se mostra importante, pois analisa diversos vãos e compara viabilidade exclusivamente da laje (concreto e aço), desprezando outros elementos.

No sistema convencional, lajes maciças, as lajes apoiam-se em vigas e estas nos pilares. Nos sistemas de lajes sem vigas, lajes lisas, as lajes são apoiadas diretamente sobre os pilares. Com isso, as lajes podem sofrer um efeito de ruptura denominada punção, onde os pilares podem aplicar cargas pontuais de grande intensidade nas lajes.

Para evitar efeitos de punção elementos especiais devem ser colocados na laje ao redor da região do pilar. Estes elementos podem ser armaduras ou conectores de cisalhamento. Neste sentido, os custos destes elementos devem ser levados em conta pelo engenheiro projetista.

Assim, este trabalho visa analisar parametricamente lajes lisas e maciças. Esta análise paramétrica foi feita em termos do vão, ou seja, para cada variação foi dimensionado a laje lisa e a maciça. Desta forma, foi possível quantificar o volume de concreto e o peso do aço, o que tornou possível levantar o custo de cada laje, para cada vão.

1.1 Justificativa e relevância

As exigências referentes ao comportamento estrutural das edificações, e as diferentes relações quanto ao desempenho dos diversos sistemas estruturais empregados na construção civil faz com que as soluções e modelos empregados em projetos se tornem um desafio para os projetistas (CARVALHO, 2009).

Neste contexto, esse trabalho vem auxiliar o engenheiro projetista na escolha do modelo estrutural a ser utilizado para atender as características do seu projeto, optando entre lajes maciças ou lajes lisas. No presente trabalho são apresentados os esforços solicitantes atuantes tanto nas lajes maciças quanto nas lajes lisas, a fim de verificar a capacidade resistente de cada uma em relação ao consumo de material e custo.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo geral

Analisar parametricamente por meio da mudança do vão o custo comparativo entre lajes lisas e lajes maciças.

1.2.2 Objetivos específicos

De forma específica, o objetivo é analisar os modelos estruturais de lajes maciças e lajes lisas, levando em consideração valores encontrados para momentos fletores solicitantes, deslocamentos transversais máximos e consumo de materiais (aço e concreto), a medida que se varia o vão. Assim, sendo possível compreender o comportamento estrutural e verificar a diferença entre elas.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Laje lisa

Conforme a Norma Brasileira (NBR 6118:2014), lajes lisas são as apoiadas diretamente em pilares sem capitéis. Por definição lajes sem vigas que fazem uso de capitéis, que por sua vez pode conter ou não “ábacos”, recebem o nome de laje cogumelo.

O sistema de lajes sem vigas surgiu pela iniciativa pioneira do engenheiro C.A.P. Turner, em 1906, com a construção do edifício C. A. Bovey Building, em Minneapolis, Minnesota, causou grande polêmica entre os engenheiros de época, sendo cegamente endossado por uns e fortemente combatido por outros, o que não impediu que se disseminasse.

Na Rússia, em 1908, o engenheiro A. F. Loley projetou, calculou e construiu um edifício de quatro pavimentos para depósito de produtos lácteos em Moscou; nos demais países europeus o primeiro exemplo é creditado a Maillart, que em 1910 construiu um edifício de lajes sem vigas em Zurique. A partir daí a construção de edifícios sem vigas proliferou, sendo atualmente empregado em todo mundo.

A **Figura 1** ilustra a perspectiva de painéis de laje sem vigas, apoiados apenas nos pilares.



Figura 1: Edifício construído com lajes lisas.

Fonte: Neo Ipsum (2020).

2.1.1 Procedimento de cálculo

De maneira geral, existem dois métodos de cálculo: o elástico e o plástico. Os baseados em hipóteses plásticas quase não são usados, pois não levam a processos rápidos ou repetitivos que possam ser programados e não dão indicações sobre qual o comportamento da estrutura em serviço (CARVALHO 2009).

Para o cálculo à flexão de lajes sem vigas foi utilizado o método direto que é previsto nos códigos do ACI [ACI COMMITTEE 318 (1995)] e encontrasse também em MONTROYA (1991). Esse método é considerado elástico porque considera, acima de tudo, relações de linearidade entre ações e esforços.

Consiste na determinação dos esforços de flexão em um painel de forma simples, sem considerar as dimensões e as cargas dos painéis adjacentes (CARVALHO, 2009). Segundo Carvalho, a utilização do método para o cálculo dos momentos na laje envolve três passos básicos:

- Determinação de um momento total de referência M_0 , calculado para cada painel nas duas direções;
- Transformação do momento M_0 em dois momentos de referência negativos nas seções A e C nas faces dos apoios, e um positivo na seção B no meio do vão;
- Distribuição dos momentos de referência negativos e positivo para as faixas de laje que contêm os pilares e para as faixas centrais de cada painel.

2.1.2 Carga total atuante

Como visto anteriormente as lajes lisa recebem as ações atuante e transmitem diretamente para os pilares, que por sua vez transmitem para a fundação, garantindo assim a estabilidade global do edifício.

As principais cargas atuantes nas lajes são as de ações permanentes (g) e as ações variáveis (q). Para efeito de cálculo as lajes são consideradas totalmente carregadas, sobrepondo-se os valores das ações permanentes e variáveis, exceto se a carga acidental for superior à metade da carga total, neste caso considera-se as lajes carregadas alternadamente com a carga acidental (CARVALHO, 2009).

As cargas atuantes são calculadas por metro quadrado de laje, para esse estudo foram consideradas as seguintes cargas:

- **Peso próprio**

O peso próprio (g) da laje lisa com espessura constante é calculado multiplicando o peso específico do concreto armado (γ_{conc}) pela altura da laje (h). Segundo a NBR 6118(ABNT, 2014), o peso específico do concreto (γ_{conc}) possui o valor de 25 kN/m³, desta forma:

$$g = \gamma_{\text{conc}} \times h = 25 \times h \quad \text{Eq. 1}$$

- **Revestimento**

Também deve ser levado em consideração a carga do revestimento (g_2) que compõe a laje. Esse é considerado como carga permanente, uma vez que é responsável pela regularização da laje. Para fins de cálculo o revestimento é encontrado multiplicando o peso específico do revestimento (γ_{rev}) pela espessura do mesmo (h_r). Assim:

$$g_2 = \gamma_{\text{rev}} \times h_r \quad \text{Eq. 2}$$

- **Acidental**

A carga variável (q), também chamada de acidental, é considerada de acordo com a função estrutural da laje. Tendo seu valor aplicado por metro quadrado, assim como as demais cargas atuantes. São exemplos de carga acidental: o peso das pessoas; o peso do mobiliário e o peso de veículos entre outros.

Portanto, a carga total é calculada somando as ações do peso próprio com acidental e revestimento, conforme a equação a seguir:

$$P = g + q + g_2 \quad \text{Eq. 3}$$

2.1.3 Momento total de referência para um vão

O momento total de referência (M_0) para um vão deve ser determinado para o carregamento total ($g + q$) em uma faixa de laje de largura L_2 (delimitada, de cada da linha de centro dos pilares, pela linha central dos painéis adjacentes ou pela borda no lado correspondente, no caso de painéis externos) com vão L_n , que é a distância entre as faces dos pilares (CARVALHO, 2009). Esse momento total de referência M_0 pode ser visto na figura a seguir.

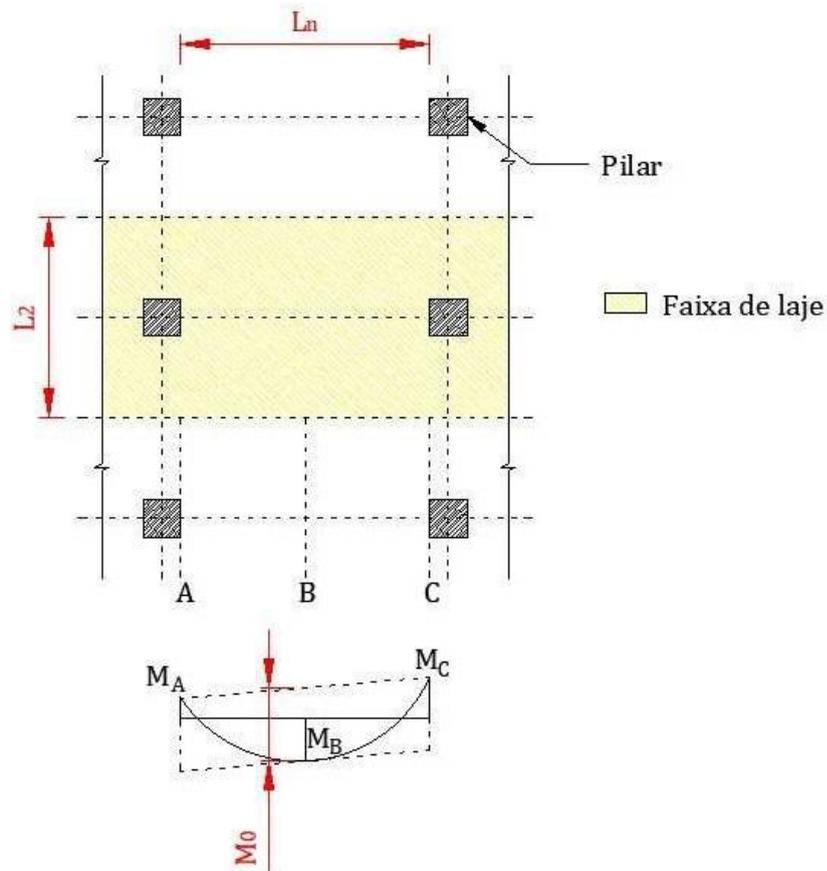


Figura 2: Simplificação da faixa de laje.

Fonte: Adaptada Carvalho (2009).

$$M_0 = \frac{(g + q) \cdot L_2 \cdot L_n^2}{8} \quad \text{Eq. 4}$$

O valor de L_n não deve ser menor que $0,65 \times L_1$, e pilares circulares e poligonais devem ser tratados como sendo quadrados de mesma área como mostra a Figura 3 (CARVALHO, 2009).

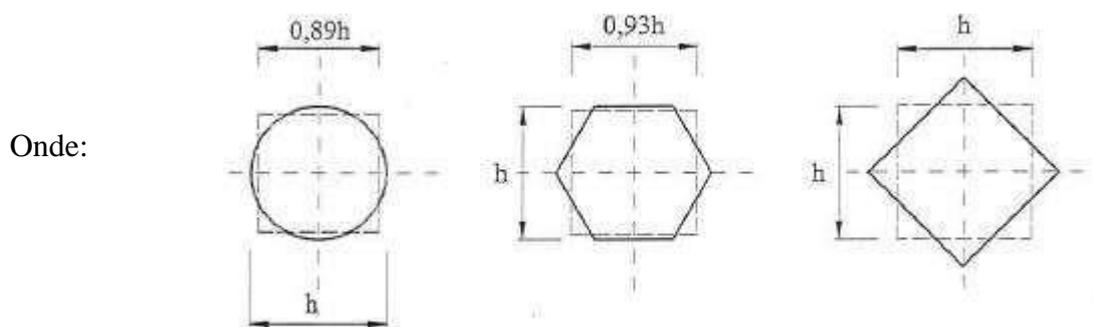


Figura 3: Seções quadradas equivalentes para pilares circulares ou poligonais.

Fonte: Carvalho (2009).

L_n – Distância entre faces de pilares;

L_1 – Distância entre eixos dos pilares;

h – Lado do quadrado de mesma área.

2.1.4 Momentos de referências positivo e negativos

O momento de referência M_0 é transformado em momentos de referência positivo (seção B no meio do vão) e negativos (seções A e C na face de pilares retangulares), para vãos internos e externos, que são então distribuídos nas diversas faixas (CARVALHO, 2009).

- Vão interno

$$M_A = M_C = 0,65 \times M_0 \quad \text{Eq. 5}$$

$$M_B = 0,35 \times M_0 \quad \text{Eq. 6}$$

- Vão externo

$$M_A = 0,26 \times M_0 \quad \text{Eq. 7}$$

$$M_B = 0,52 \times M_0 \quad \text{Eq. 8}$$

$$M_c = 0,70 \times M_0 \quad \text{Eq. 9}$$

- No balanço

$$M_{\text{bal}} = \frac{p \cdot l_2 \cdot l_{\text{borda}}^2}{2} \quad \text{Eq. 10}$$

Os vãos internos são compreendidos entre os pilares internos, já os vãos externos são delimitados pelos pilares externos e por fim o balanço é o vão entra a borda e o pilar externo como mostra a Figura 4.

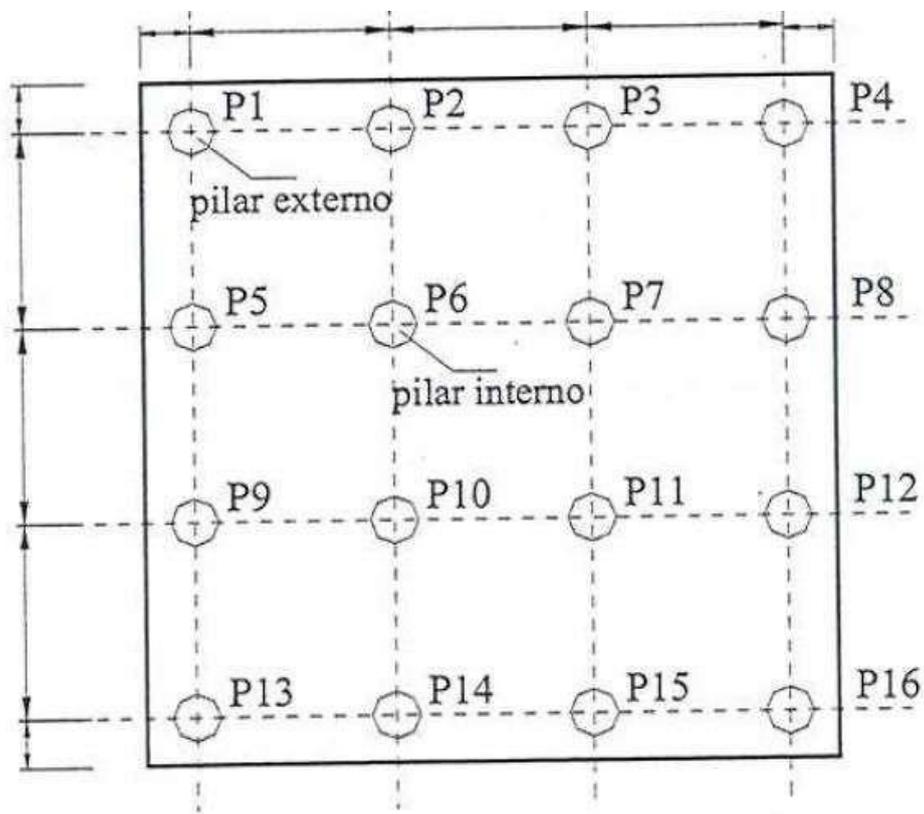


Figura 4: Planta mostrando os tipos de pilares para identificar os vãos.

Fonte: Carvalho (2009).

2.1.5 Momento de referência nos pilares

Segundo Carvalho (2009), pilares internos e paredes ligadas monoliticamente com a laje devem resistir aos momentos causados pela ação na laje, admitindo carga permanente total mais

metade da carga acidental, aplicadas no vão adjacente maior, e só a permanente no vão menor, com g' , l'_2 e l'_n referentes a este último.

$$M = 0,07 \cdot [(g + 0,5 \cdot q) \cdot l_2 \cdot l_n^2 - g' \cdot l'_2 \cdot (l'_n)^2] \quad \text{Eq. 11}$$

Em pilares externos, o momento fletor será igual ao momento de referência negativo externo, calculado para o vão correspondente (CARVALHO, 2009).

2.1.6 Distribuição dos momentos positivos e negativos na laje

O momento de referência de ser distribuído na laje atentando-se para as faixas conforme a Figura 5.

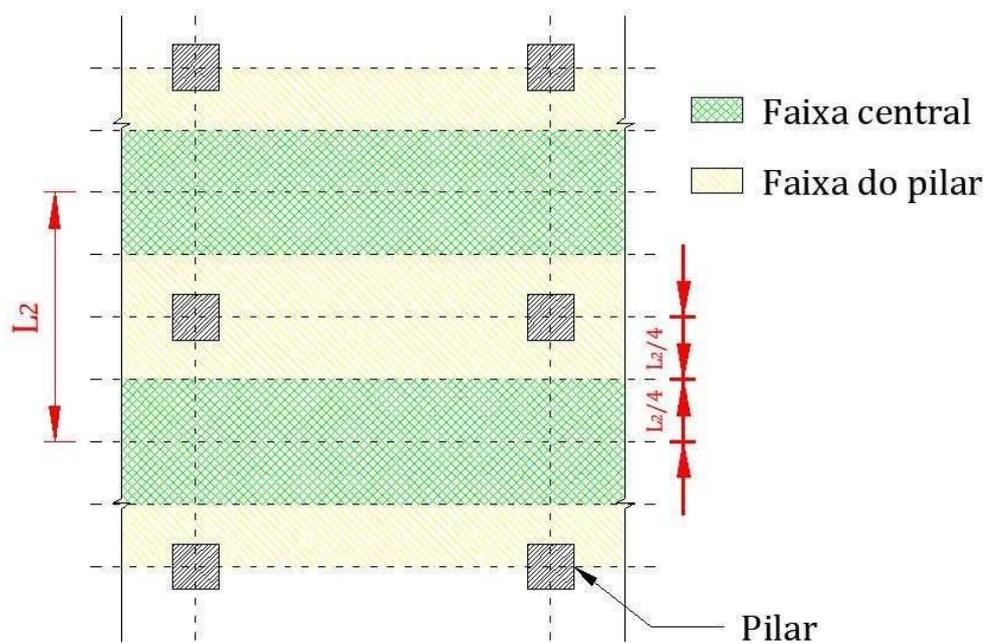


Figura 5: Representação da faixa dos pilares e centrais.

Fonte: Adaptada Carvalho (2009).

A distribuição para as faixas dos pilares é feita com base na Tabela 1.

Tabela 1 - Distribuição do momento na faixa do pilar.

Momento	% resistida pela faixa
Momento negativo interno	75
Momento negativo externo	100
Momento positivo	60

Fonte: Adaptada (CARVALHO 2009).

Já para as faixas centrais distribuísse segundo Carvalho (2009):

- As parcelas dos momentos de referência positivo e negativo não resistidas pela faixa dos pilares devem ser distribuídas para as correspondentes meias faixas centrais.
- Cada faixa central deve resistir à soma dos momentos distribuídos para cada uma de suas meias faixas.
- A faixa central adjacente e paralela a uma borda apoiada em parede deve resistir ao dobro do momento transmitido para a meia faixa central vizinha à faixa dos pilares correspondente à primeira linha de pilares interiores.

2.1.7 Verificação das flechas

Conforme o item 17.3.2.1 da NBR 6118 (ABNT, 2014), o modelo de comportamento da estrutura pode admitir o concreto e o aço como materiais de comportamento elástico e linear, de modo que as seções ao longo do elemento estrutural possam ter as deformações específicas determinadas no estágio I (a carga aplicada na peça solicita um esforço de tração menor que a resistência à tração do próprio concreto), desde que os esforços não superem aqueles que dão início à fissuração, e no estágio II (a carga aplicada passa a ser suficiente para gerar fissuras na região tracionada do concreto, nesse momento a armadura passa a ser necessária), em caso contrário.

O valor da flecha é dado pela equação abaixo, utilizando os coeficientes do quadro 1 em anexo.

$$a = \frac{p \times l_x^4}{E \times h^3} \times \frac{\alpha}{100} \quad \text{Eq. 12}$$

Onde:

p – carregamento uniformemente distribuído sobre a laje;

α – coeficiente retirado do quadro 1;

l_x – menor vão da laje;

E – Módulo de elasticidade;

h – espessura da laje.

Os valores limites para as flechas são indicados na Tabela 2, conforme a norma.

Tabela 2: Limites para deslocamentos.

Razão da limitação	Exemplo	Deslocamento a considerar	Deslocamento limite
Visual	Deslocamentos visíveis em elementos estruturais	Total (combinação quase permanente)	1/250
Outros	Vibrações sentidas no piso	Em razão de cargas acidentais	1/350

Fonte 1: Adaptada NBR 6118 (ABNT 2014).

2.1.8 Detalhamento da armadura

O cálculo da armadura longitudinal para lajes lisas é dado assim como em vigas retangulares simples (CARVALHO, 2009), assim sendo, a área de aço é calculada a partir das equações:

$$KMD = \frac{M_d}{bw \times d^2 \times fcd} \quad \text{Eq. 13}$$

$$A_s = \frac{M_d}{KZ \times d \times fs} \quad \text{Eq. 14}$$

Onde:

- KMD é o coeficiente calculado para encontrar o valor de KZ ;
- M_d (kNm/m) é o máximo momento fletor de cálculo atuante na laje;
- bw (m) corresponde à largura da laje (como calcula-se a armadura por metro de laje $bw = 1$ m);
- d é a altura útil da laje;
- fcd é a resistência de cálculo de concreto;
- A_s (cm²/m) corresponde à área de aço por metro de laje;
- KZ é o coeficiente obtido através do quadro 2 em anexo;
- fs é a resistência de cálculo do aço.

Tendo calculado o valor da área de aço, o detalhamento é feito definindo-se um diâmetro para a barra longitudinal (ϕ), e determinando o número necessário de barras (n) por metro de laje e conseqüentemente, o espaçamento (s) entre elas:

$$n = \frac{A_s}{A_\phi} \quad \text{Eq. 15}$$

$$s = \frac{1}{n} \quad \text{Eq. 16}$$

O espaçamento deve obedecer às condições: $s \leq 20 \text{ cm}$ e $s \leq 2 \times h$, sendo h a altura da laje (CARVALHO, 2009).

Para o cálculo da quantidade total de barras necessárias para resistir aos esforços na laje, basta dividir o comprimento da laje em que as barras serão espaçadas pelo espaçamento (s) definido.

2.2 Lajes maciças

A laje maciça é uma placa plana constituída de concreto armado maciço, não apresentando vazios, e apoiados ao longo de vigas ou alvenarias (BASTOS, 2015).

A primeira construção utilizando o sistema de lajes maciças de concreto armado surgiu no século XIX através do inglês William Boutland Wilkison (1819-1902), fabricante de gesso e argamassa. No ano de 1854, Wilkison construiu uma casa de campo em alvenaria com dois pavimentos, e reforçou os pisos e cobertura com barras de ferro e arames, a construção foi considerada o primeiro registro de uso do concreto combinado com o aço (VASCONCELLOS, 2004).

O modelo das lajes maciças é ilustrado pela Figura 6, a espessura (h) é uniforme e normalmente possui valores entre 7 e 15 cm (ARAÚJO, 2010).

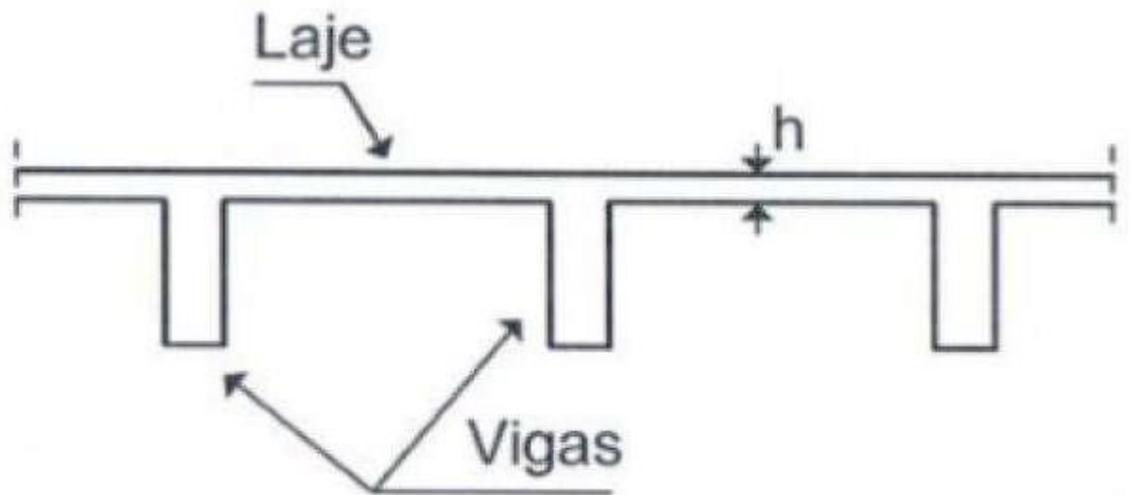


Figura 6: Modelo de laje maciça.

Fonte: Araújo (2010).



Figura 7: Laje maciça sendo armada.

Fonte: Pereira (2019).

2.2.1 Procedimento de cálculo

O dimensionamento do presente trabalho se deu utilizando a teoria da elasticidade ou flexão, para as lajes maciças.

O método elástico utiliza como fundamento as equações de equilíbrio de um elemento infinitesimal de uma placa delgada, visto que as lajes maciças são consideradas placas delgadas de concreto armado. A fim de simplificar os cálculos, a placa é considerada um material homogêneo, elástico, isótropo, fisicamente linear e com pequenos deslocamentos (CARVALHO, 2019).

Para efeito de cálculos, as lajes devem ser consideradas individualmente, sendo cada região contida entre vigas como uma laje. E assim, deve-se determinar:

- 1) Condições de vinculação nas lajes;
- 2) Pré-dimensionamento das alturas das lajes;
- 3) Ações atuantes;
- 4) Verificação das flechas;
- 5) Momentos fletores solicitantes;
- 6) Detalhamento da armadura.

2.2.2 Condições de vinculação das lajes

Para determinar os esforços solicitantes e deformações nas lajes através do método manual com uso de tabelas, descrito acima, faz-se necessário estabelecer a condição de vinculação entre as lajes com os apoios. Os apoios podem ser de diferentes tipos, como paredes de alvenaria, vigas de concreto e pilares de concreto, sendo as vigas nas bordas o tipo mais comum (BASTOS, 2015).

As vinculações das lajes com os apoios são consideradas como apoio simples ou engaste perfeito. A borda é engastada quando há uma laje vizinha com rigidez suficiente para impedir a rotação (CARVALHO, 2009), já nas bordas em que não existe ou não se admite a continuidade da laje com outra, considera-se apoio simples (BASTOS, 2015).

É apresentado na Figura 8 as diversas combinações de vínculos possíveis, sendo que as linhas simples indicam apoio simples e as linhas hachuradas indicam bordas engastadas.

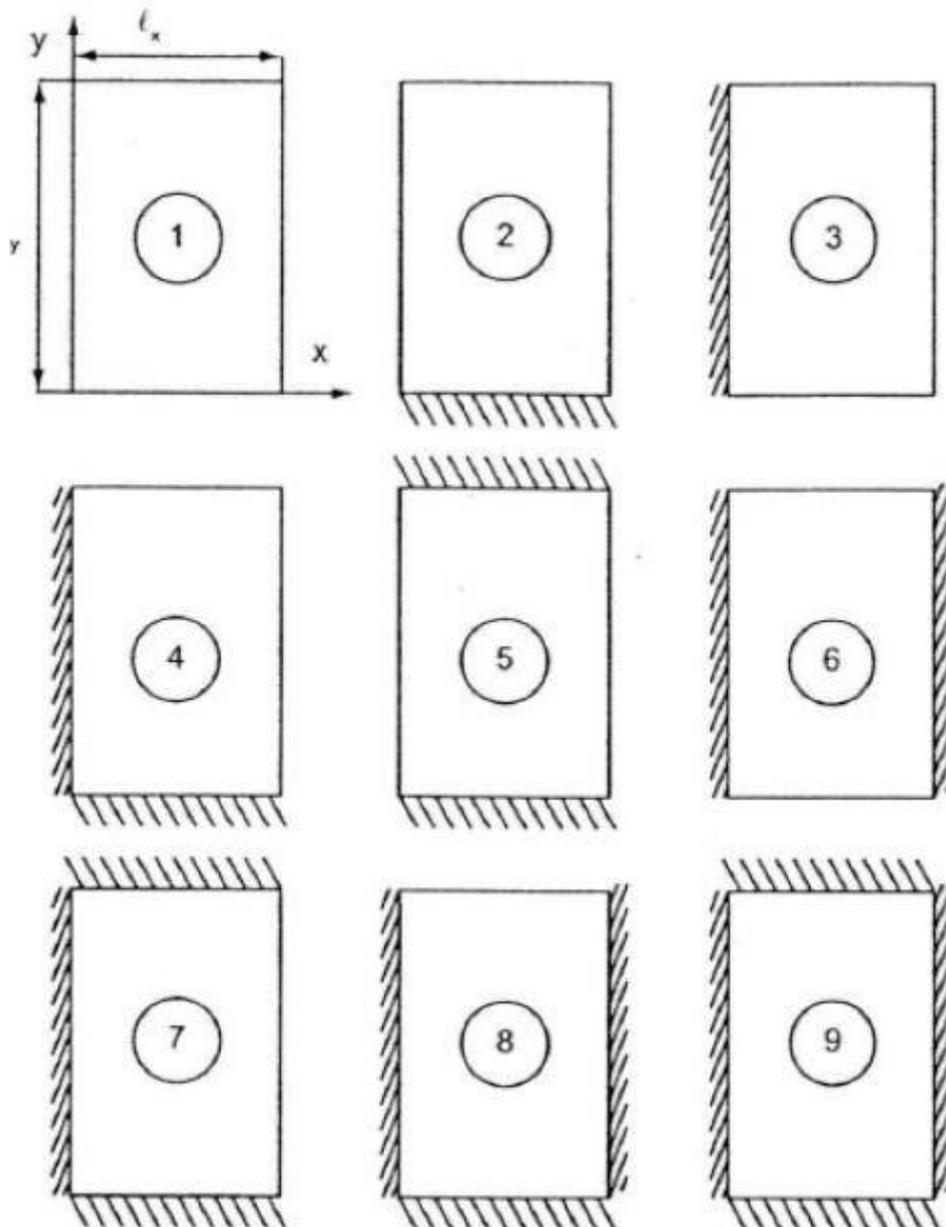


Figura 8: Vinculações das lajes.

Fonte: Carvalho (2009)

2.2.3 Pré-dimensionamento das alturas das lajes

Conforme a NBR 6118:2014, recomenda-se que a altura útil deve respeitar a seguinte relação para lajes maciças retangulares de edifícios:

$$d \geq \frac{l_x}{\psi_2 \times \psi_3} \quad \text{Eq. 17}$$

Onde:

ψ_2 – coeficiente dependente das condições de vinculação e dimensões da laje;

ψ_3 – coeficiente dependente do tipo de aço;

l_x – menor vão da laje.

Os valores de ψ_2 e ψ_3 são extraídos, respectivamente, através dos quadros 2 e 3 em anexo. Sendo ψ_2 dado em função do tipo de vinculação (determinado pela Figura 8) e dimensões da laje, e ψ_3 em função do tipo de aço e tipo de laje. O fator de relação entre as dimensões da laje é dado por:

$$\lambda = \frac{l_y}{l_x} \quad \text{Eq. 18}$$

Sendo:

l_y – maior vão da laje;

l_x – menor vão da laje.

A partir do valor da altura útil d , determina-se a altura h da laje, equação 19:

$$h = d + c + \phi + \frac{\phi}{2} \quad \text{Eq. 19}$$

c – cobrimento nominal das armaduras da laje;

ϕ – diâmetro da barra longitudinal da laje.

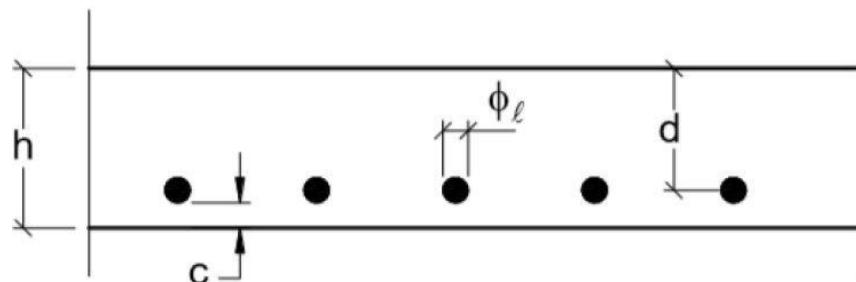


Figura 9: Altura para lajes maciças.

Fonte: Carvalho (2009).

2.2.4 Ações atuantes

As ações principais atuantes nas lajes maciças são encontradas como já visto no item 2.1.2, conforme é calculado para as lajes lisas.

2.2.5 Verificação das flechas

A verificação do deslocamento transversal máximo (flecha) em lajes com carregamento uniforme e com as condições de contorno estabelecidas, é feita de maneira aproximada, considerando o comportamento elástico dos materiais e desprezando os efeitos de fluência e fissuração (CARVALHO, 2009).

O cálculo das flechas máximas se dá conforme visto no item 2.1.7 deste trabalho, sendo o mesmo cálculo empregado para ambas as lajes.

2.2.6 Momentos fletores solicitantes

Os momentos fletores máximos solicitantes nas duas direções da laje são calculados seguindo a equação abaixo, que utiliza os coeficientes μ_x , μ_y , μ'_x e μ'_y dados pelos quadros 4, 5 e 6 em anexo, escolhidos com base no tipo de vinculação da laje em questão.

- Momentos máximos positivos (m_x e m_y):

$$m_x = \mu_x \frac{pl_x^2}{100} \quad \text{Eq. 20}$$

$$m_y = \mu_y \frac{pl_y^2}{100} \quad \text{Eq. 21}$$

- Momentos máximos negativos (X_x e X_y):

$$X_x = \mu'_x \frac{pl_x^2}{100} \quad \text{Eq. 22}$$

$$X_y = \mu'_y \frac{pl_x^2}{100}$$

Eq. 23

2.2.7 Detalhamento da armadura

Para o presente trabalho, foi dimensionado a armadura longitudinal conforme o item 2.1.8, visto anteriormente, sendo assim o detalhamento da armadura tanto nas lajes maciças quanto nas lajes lisas seguiram os mesmos procedimentos.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Trabalho da Campos (2018)

Este trabalho realizou um estudo analisando dois tipos de lajes: lajes maciças e lajes treliçadas, sendo a primeira constituída de concreto armado e moldada in loco, e a segunda composta por vigotas de concreto pré-moldadas.



Figura 10: Laje maciça em construção.

Fonte: Bastos (2015).



Figura 11: Laje treliçada em construção com EPS.

Fonte: Silva (2012).

A metodologia usada foi a comparação, para diferentes tamanhos de vão, utilizando quadros e tabelas como método de cálculo, e teve como objetivo determinar a diferença entre os dois tipos nos seguintes parâmetros: momentos e flechas máximas, quantitativo de aço e concreto, e custo.

As conclusões foram que o sistema estrutural de laje treliçada teve menor consumo de matérias, sendo que quanto maior o vão mais econômico a laje treliçada é em relação a maciça. Já se tratando de deslocamento vertical a laje treliçada apresentou valores mais altos para pequenos vãos enquanto que as flechas mais altas foram da maciça para grandes vãos, o que ocorreu por seu peso próprio ser mais elevado.

3.2 Trabalho do Smiriglio (2015)

Este trabalho realizou um estudo de viabilidade de projeto estrutural para um pavimento de um empreendimento residencial. Foi feita a análise de lajes convencionais: sistema composto por lajes, vigas e pilares. E lajes lisas: sistema composto por apenas lajes e pilares. A planta baixa utilizada está representada na Figura 12.

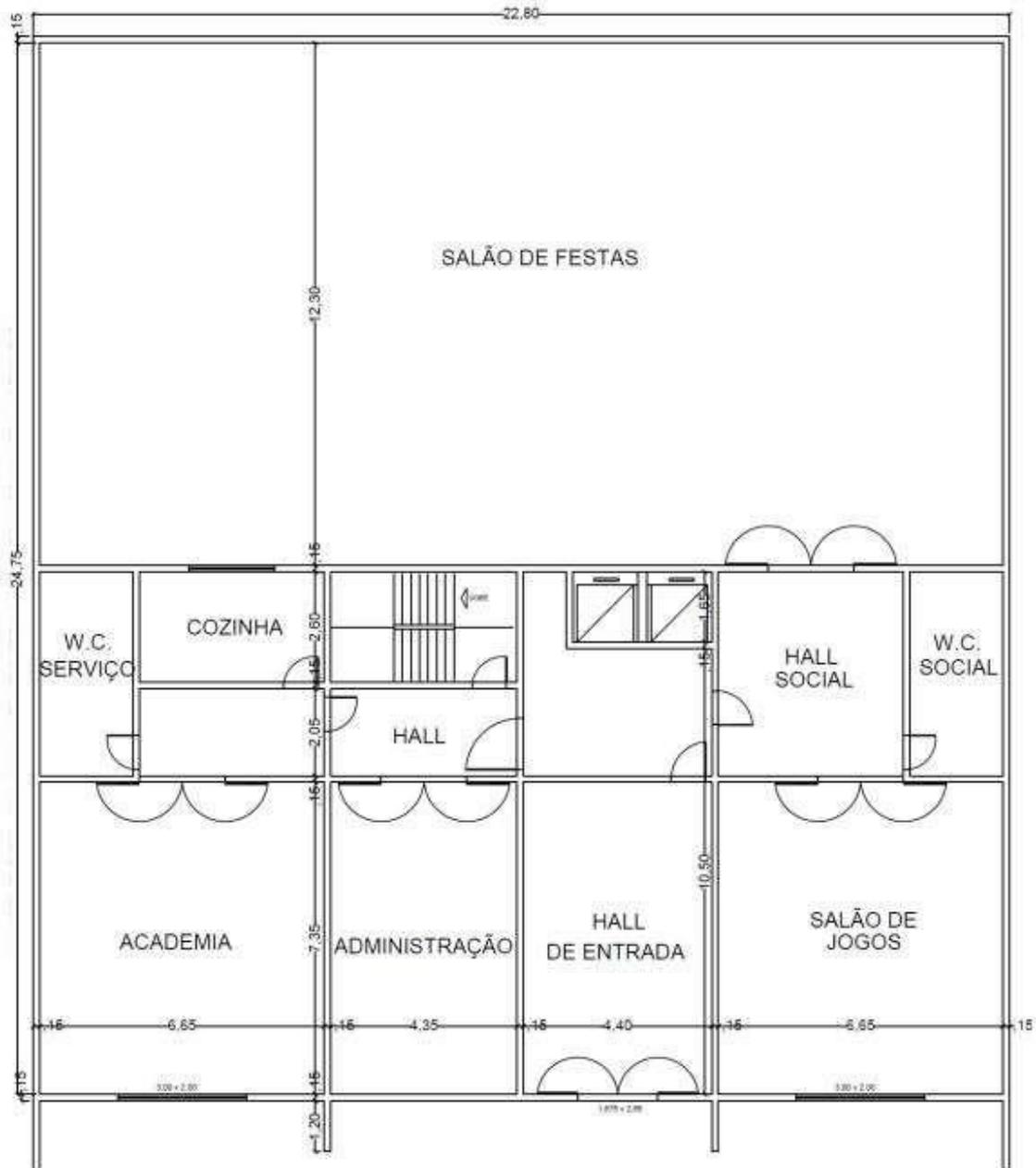


Figura 12: Planta de arquitetura do pavimento exemplo.

Fonte: Smiriglio (2015).

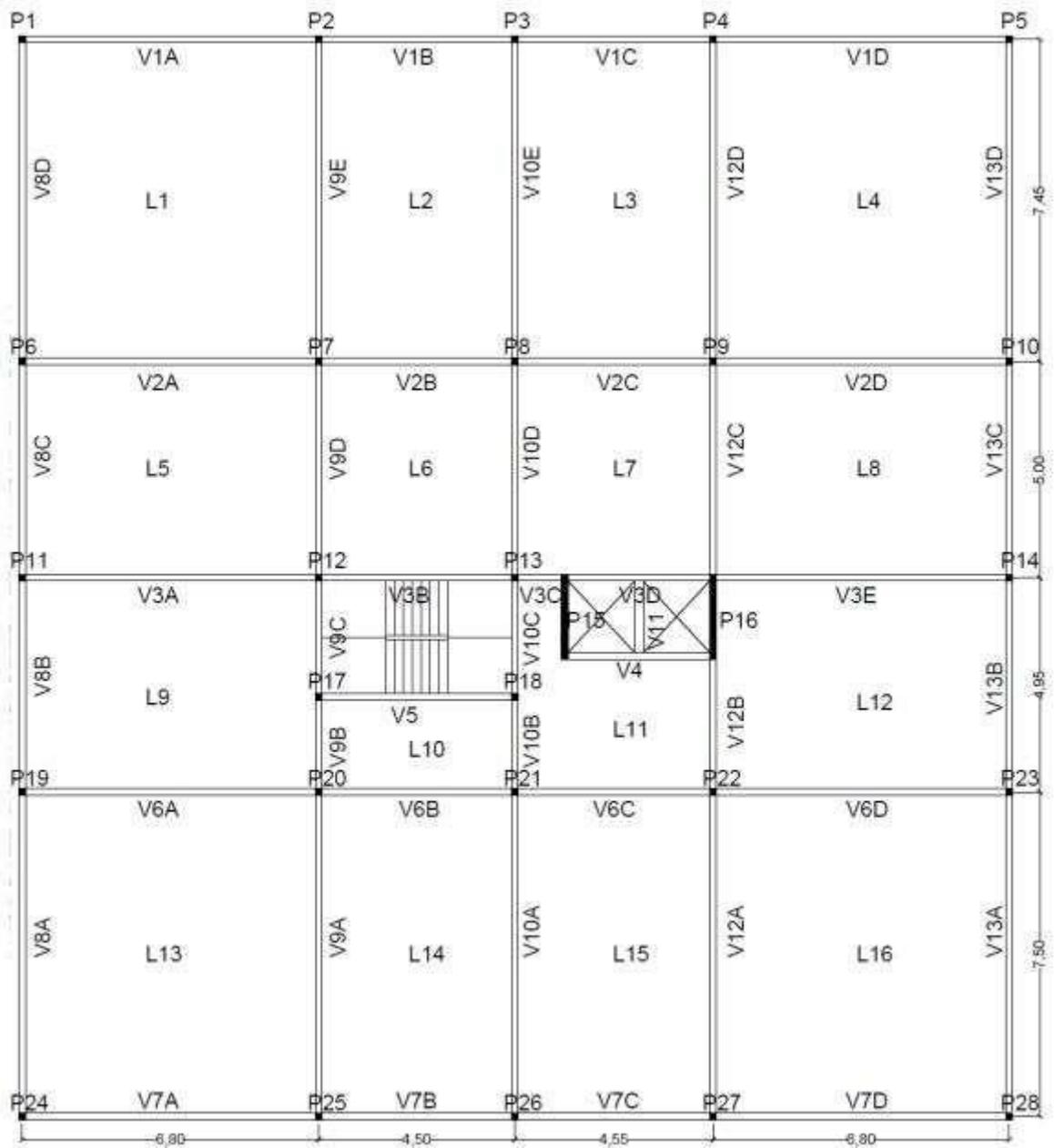


Figura 13: Teto do pavimento exemplo (estrutura convencional).

Fonte: Smiriglio (2015).

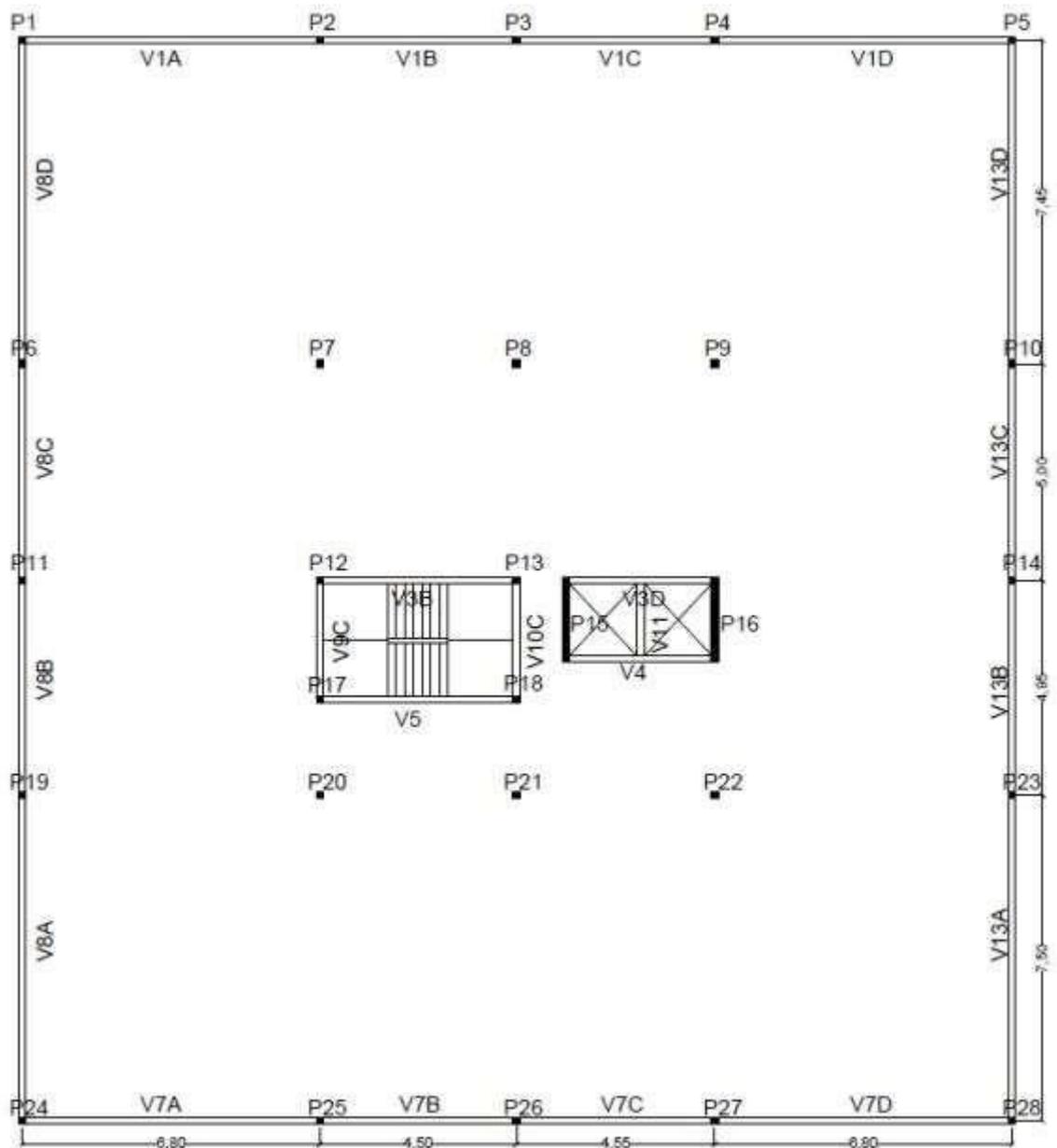


Figura 14: Teto do pavimento exemplo (estrutura de laje lisa).

Fonte: Smiriglio (2015).

A metodologia utilizada foi um pré-dimensionamento para cada uma das estruturas conforme as plantas mostradas acima. Posteriormente, cada um dos sistemas foi representado adequadamente no programa SAP2000, para os cálculos dos esforços atuantes em ambas das lajes. Feito isso, foi dimensionado as armaduras e levantamento de insumos. Assim, foi feita uma comparação de viabilidade entre o pavimento, feito em lajes lisas e em estrutura convencional.

Concluiu-se que o pavimento, feito em lajes lisas, utilizaria aproximadamente 2,64 da massa de aço de que seria utilizada na estrutura convencional e 94,98% de volume de concreto.

3.3 Trabalho do Faria (2010)

Este trabalho realizou um estudo de análise comparativa de sistemas estruturais em concreto armado de maneira quantitativa. Sendo os sistemas estruturais analisados: lajes convencionais (maciça), lajes lisas e lajes nervuradas.

A metodologia empregada nesse estudo (FARIA, 2010), foi o dimensionamento de um edifício residencial (Figura 15) já executado na cidade de Porto Alegre e para o dimensionamento das estruturas: lajes convencionais; lisas e nervuradas, usou-se apenas o software TQS®.



Figura 15: Fachada do edifício-exemplo.

Fonte: Faria (2010).

Após a adequação dos três sistemas estruturais propostos, foi feita análise dos quantitativos, dos custos através de composições unitárias e custos médios da construção no Estado de Porto Alegre, dos métodos de cimbramentos e escoramentos empregados nas obras.

Os resultados obtidos foi que a alternativa estrutural com lajes convencionais possui o menor custo e a menor produtividade, que as soluções com lajes lisas e nervuradas com EPS têm praticamente os mesmos custos e a mesma produtividade e que nas lajes nervuradas com cubetas tem-se o maior custo e uma produtividade entre as alternativas anteriores.

3.4 Trabalho do Doppelreiter (2015)

Este trabalho realizou um estudo comparativo entre os diferentes métodos para dimensionamento de lajes lisas, sendo os métodos comparados: o método de pórticos planos, o método de analogia a grelhas e o método de analogia á elementos de placa.

A metodologia utilizada foi o cálculo e comparação dos momentos gerados para cada método estudado, seguindo uma planta de laje que se apoiou em 16 pilares conforme mostra a Figura 16.

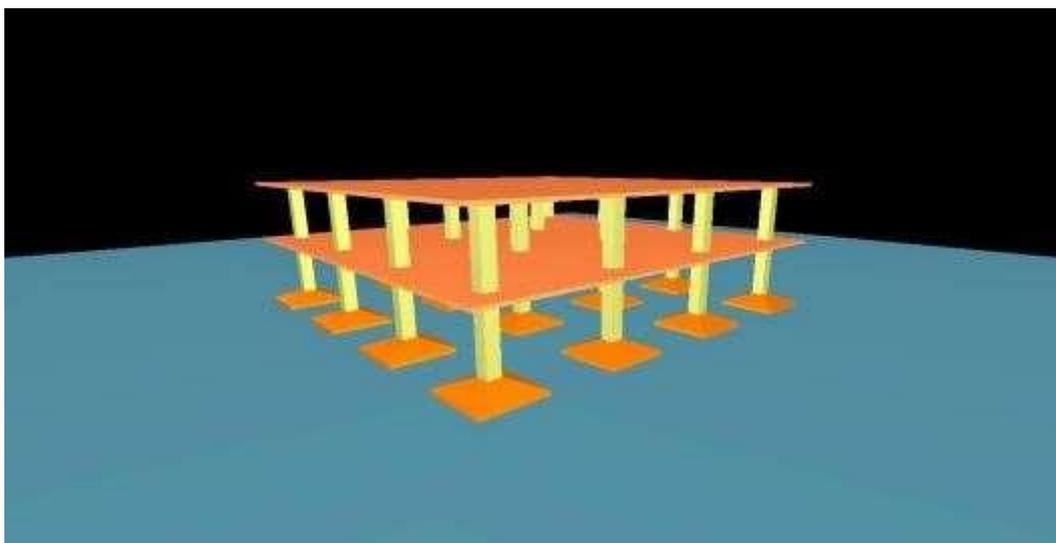


Figura 16: Planta da laje do edifício em 3D.

Fonte: Doppelreiter (2015).

Os resultados obtidos foi que o método de pórticos planos apresentou resultados em geral satisfatórios, porém falhos em algumas regiões da laje. Já os métodos computacionais representados pelos métodos da analogia e elementos de grelhas e placas se mostraram parecidos entre si, apesar de o resultado do segundo ser mais elevado em algumas regiões próximas aos pilares.

4 METODOLOGIA

Para análise estrutural da laje lisa foi utilizado como ponto de partida a planta apresentada na Figura 17, para realizar os cálculos, conforme os métodos apresentados no capítulo 2, dos esforços atuantes na Laje 3 assim como o trabalho da Campos (2018) que deu origem a esse trabalho, porém, foi necessário criar um modelo genérico removendo as vigas, acrescentando sete pilares e uma laje para que fossem respeitadas as restrições impostas para o método direto de dimensionamento.

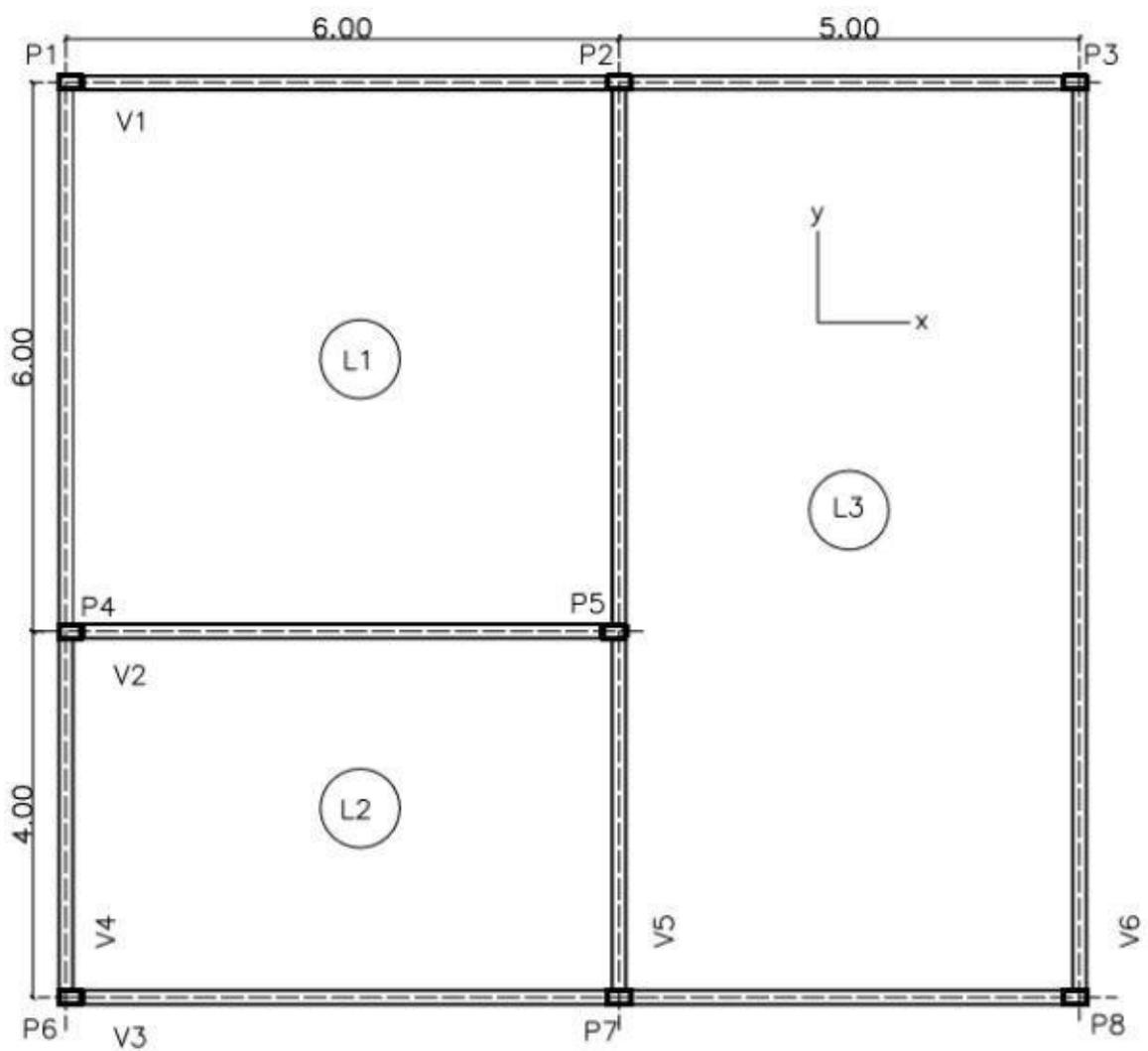


Figura 17: Planta de fôrmas.

Fonte: Carvalho (2009).

A Figura 18 ilustra a planta de forma com as respectivas alterações feitas para garantir as restrições impostas pelo método de cálculo utilizado.

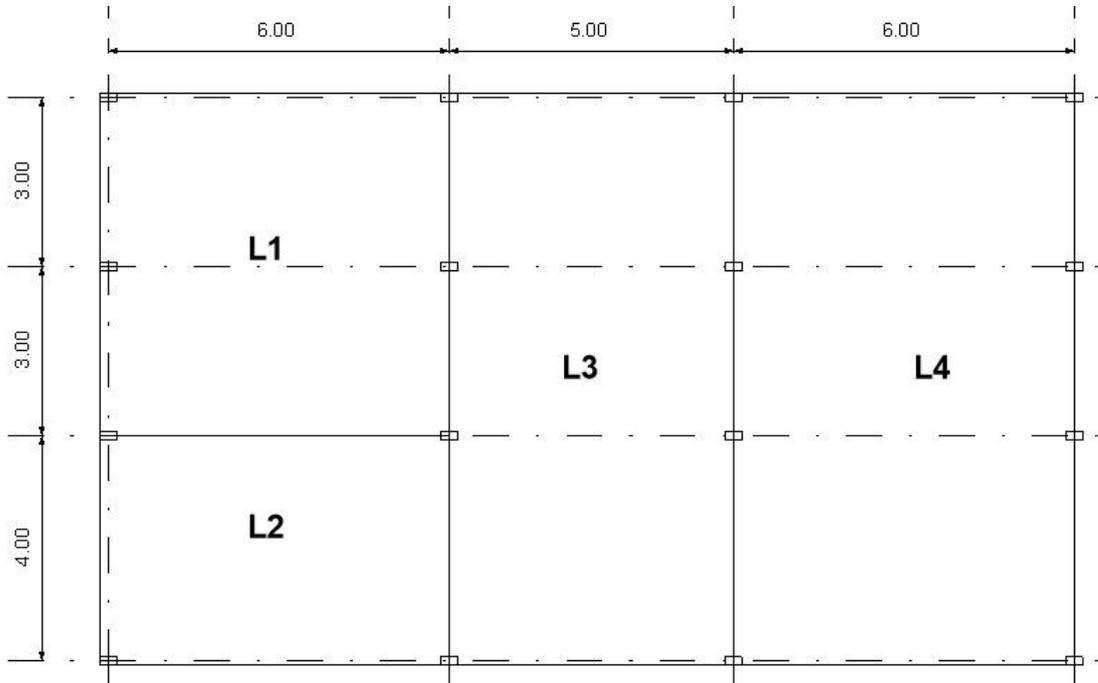


Figura 18: Planta de fôrmas respeitando o método direto.

Fonte: Autor (2021).

Buscando analisar o comportamento da laje lisa em virtude da dimensão do vão, e, posteriormente, comparar com as lajes maciças, variou-se o comprimento nas duas direções (l_x e l_y) do painel interno (L3 da Figura 18), visto que essa variação garantiria a continuidade simétrica da laje. Todavia, o cálculo de l_x e l_y foi realizado para valores entre 2 e 6 metros intervalados de 50 centímetros, conforme a Tabela 3.

Tabela 3: Valores de l_x e l_y para verificação dos esforços na laje.

Vão (m)	
l_x	l_y
2,00	2,00
2,50	2,50
3,00	3,00
3,50	3,50
4,00	4,00
4,50	4,50
5,00	5,00
5,50	5,50
6,00	6,00

A realização dos cálculos teve como base as seguintes condições:

- A laje será apoiada exclusivamente nos pilares;
- Pilares centrais com lado de 0,445 m e pilares externos com lado de 0,374 m;
- O concreto utilizado será o C20 ($f_{ck} = 20$ Mpa);
- O aço utilizado será o CA-50.

Considerando como ações atuantes na laje, as cargas de:

- Peso próprio;
- Carga acidental: 3 kN/m²;
- Revestimento: 0,7 kN/m²;

Assim sendo, os momentos fletores solicitantes, os deslocamentos transversais máximos e os quantitativos de aço e concreto foram estudados para cada valor de vão descrito na Tabela 3.

4.1 Cálculo Laje Maciça

Para as lajes calculadas como maciças, foi considerado os dados obtidos no Trabalho da Campos (2018). Entretanto, no trabalho da Campos (2018) uma das direções (l_y) era fixa, ou seja, não variou à medida que se aumentou o vão, já neste presente trabalho tanto l_x quanto l_y variam de maneira proporcional. Essa variação nas duas dimensões foi necessária para que se cumpra as restrições impostas pelo método direto, utilizado para os cálculos. Assim, para garantir que a análise comparativa fosse feita em lajes lisas e maciças de mesma dimensão teve que ser recalculado os valores de momento, flechas e consumo de matérias para a laje maciça. Esses novos valores para a laje maciça foram obtidos respeitando o método de cálculo utilizado no trabalho da Campos (2018), sendo assim, foi possível realizar a análise comparativa com as lajes lisas.

4.2 Cálculo Laje Lisa

Para as lajes calculadas como lisas, considerou-se a armadura composta por barras de aço CA 50 com 16 mm de diâmetro, adotando cobrimento nominal de 2,5 cm.

O consumo de aço e concreto foram determinados conforme as Equações 24 e 25:

$$\text{Consumo de aço (kg)} = \mu \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}} \right) \times L(\text{m}) \quad \text{Eq. 24}$$

$$\text{Consumo de concreto (m}^3\text{)} = A_{\text{laje}}(\text{m}^2) \times h(\text{m}) \quad \text{Eq. 25}$$

Onde:

- μ é a massa linear do aço, definida de acordo com a tabela B.1 da NBR 7480 (ABNT, 2007);
- L é o comprimento total das barras de aço em metros, sendo que seu valor foi obtido pelo produto do número de barras necessárias e comprimento equivalente de cada barra;
- A_{laje} é a área da laje, calculada pelo produto das dimensões l_x e l_y da laje;
- h é a altura da laje, definida após todas as verificações de cálculo.

4.3 Comparativo de custos

O custo total das lajes foi encontrado através do consumo e preço unitário de cada material, obtido em SINAPI (2021), da seguinte maneira:

Custo laje maciça = (Consumo de aço x preço unitário de aço) + (Consumo de concreto x preço unitário do concreto).

Custo laje lisa = (Consumo de aço x preço unitário de aço) + (Consumo de concreto x preço unitário do concreto).

Tabela 4: Preços unitários dos materiais.

CÓDIGO	DESCRIÇÃO DO INSUMO	UNID	PREÇO MEDIANO (R\$)
1524	CONCRETO USINADO BOMBEAVEL, CLASSE DE RESISTENCIA C20, COM BRITA 0 E 1, SLUMP = 100 +/- 20 mm, INCLUI SERVICO DE BOMBEAMENTO (NBR 8953)	m ³	322,42
43055	ACO CA-50, 12,5 mm, OU 16,0 mm, VERGALHAO	Kg	7,54
32	ACO CA-50, 6,3 mm, VERGALHAO	Kg	9,18

Fonte: Adaptado SINAPI (2021).

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste tópico serão apresentados e discutidos os resultados encontrados através da realização dos cálculos descritos acima. Com intuito de comparar os valores obtidos para cada tipo de laje, de maneira que facilite a leitura, os resultados de momento, flecha, quantidade de materiais e custos serão dispostos em tabelas em função do vão.

Assim sendo serão avaliadas quais as situações em que verificasse ser economicamente mais viável para o projetista optar por laje maciça ou lisa, de modo que não se comprometa a segurança da estrutura. Embora, deva-se saber que não foram considerados a presença das vigas nas lajes maciças nestas análises.

5.1 Momentos Fletores e Flechas Máximas

Os resultados de momentos fletores e flechas máximas encontrados estão dispostos na Tabela 5 e Tabela 6, e gráficos das Figuras 19 e Figura 20.

Tabela 5: Momentos fletores máximos (kN.m).

Vão (m)	Altura maciça (cm)	Altura lisa (cm)	$M_{\text{maciça}}$	M_{lisa}	$\frac{M_{\text{maciça}}}{M_{\text{lisa}}}$
2,00	8,00	10,00	2,310	2,035	1,135
2,50	8,00	13,00	3,613	4,395	0,822
3,00	8,00	16,00	5,202	8,100	0,642
3,50	9,00	19,00	7,387	13,451	0,549
4,00	10,00	22,00	10,048	20,750	0,484
4,50	11,00	26,00	13,233	30,299	0,436
5,00	11,00	29,00	16,325	42,400	0,385
5,50	12,00	33,00	20,510	57,354	0,358
6,00	13,00	37,00	25,308	75,464	0,335

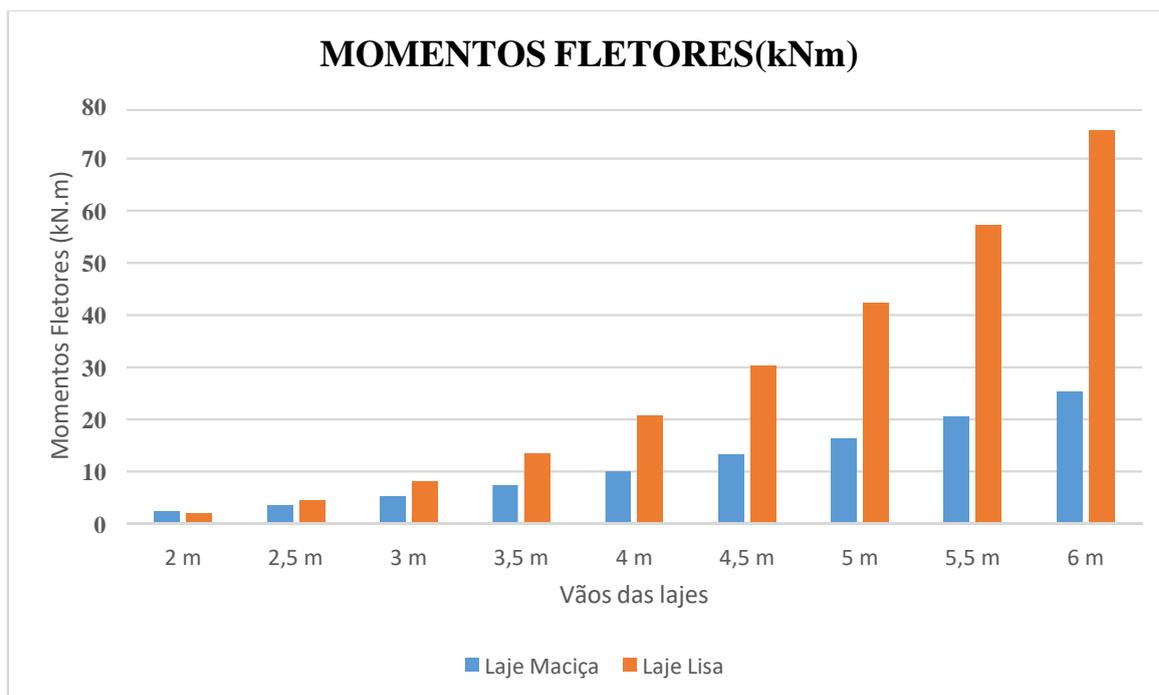


Figura 19: Comparativo de momentos flettores máximos de acordo com o vão.

Tabela 6: Flechas máximas (mm).

Vão (m)	Altura maciça (cm)	Altura lisa (cm)	$a_{maciça}$	a_{lisa}	$\frac{a_{maciça}}{a_{lisa}}$	a_{limite}
2,00	8,00	10,00	0,886	6,882	0,129	8,00
2,50	8,00	13,00	2,164	8,573	0,252	10,000
3,00	8,00	16,00	4,488	10,564	0,425	12,000
3,50	9,00	19,00	8,673	12,825	0,676	14,000
4,00	10,00	22,00	15,410	15,345	1,004	16,000
4,50	11,00	26,00	25,666	16,509	1,555	18,000
5,00	11,00	29,00	39,119	19,467	2,010	20,000
5,50	12,00	33,00	59,467	21,109	2,817	22,000
6,00	13,00	37,00	87,329	22,986	3,799	24,000

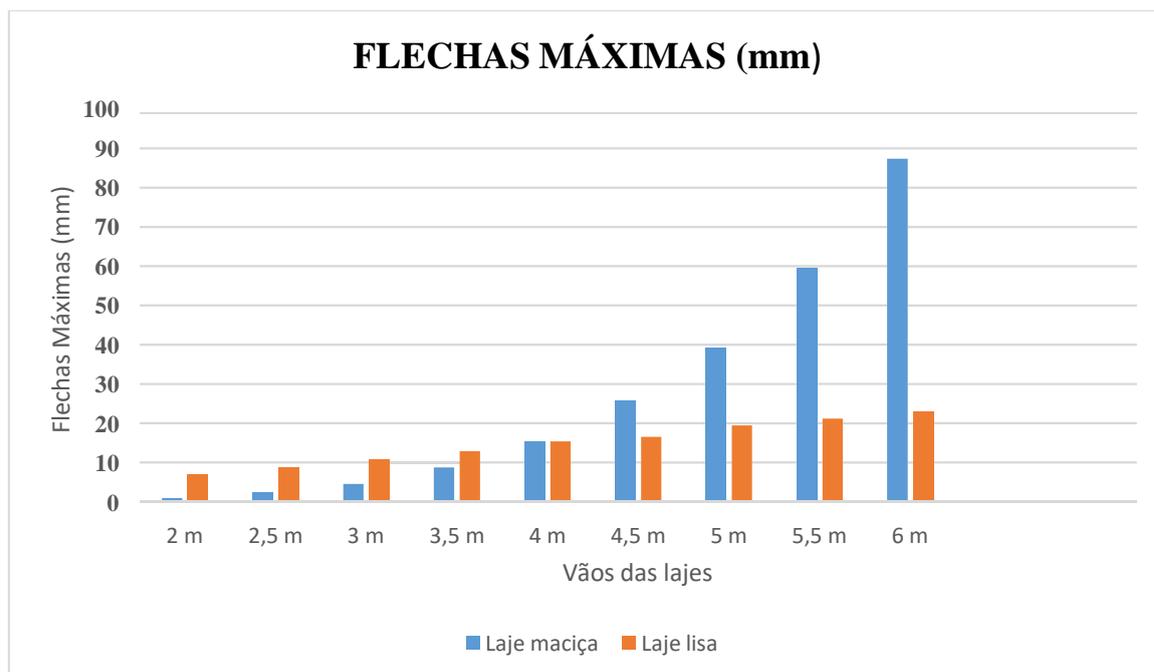


Figura 20: Comparativo de flechas máximas em função do vão.

As tabelas apresentadas mostram que para resistir aos esforços solicitantes, as lajes lisas necessitam de alturas significativamente maiores que a laje maciça, sendo que a partir do vão de 3,5 metros essas atingem valores maiores que o dobro em relação as da laje maciça. A maior diferença foi deparada no vão de 6,0 metros, onde a altura da laje lisa foi 2,84 vezes maior que a laje maciça, o que influenciou diretamente nos resultados encontrados.

Tendo em vista os resultados de momentos fletores máximos calculados é possível perceber que os valores são maiores para as lajes lisas do que para as maciças para todos os tamanhos de vão exceto quando o mesmo assume valor de 2,00 m. Todavia, os valores da relação $\frac{M_{maciça}}{M_{lisa}}$ ficam decrescente a medida que se aumenta a dimensão do vão analisado, o que indica que com o aumento do vão os acréscimos de momento fletor são maiores na laje lisa.

Através dos valores de flechas máximas obtidos, observa-se que as lajes lisas apresentam valores maiores até o vão de 3,5 m mantendo-se a relação $\frac{f_{maciça}}{f_{lisa}}$ inferior a 1, e para os cálculos realizados para vãos de 4,0 a 6,0 metros a situação se inverte e as maciças apresentam maiores valores de flechas, chegando à 3,79 vezes maior em relação às lisas, o que é explicado pela maior altura destas em comparação com aquelas. Entretanto, para todos os casos de momento máximo obtido pelo ACI os valores de flecha demonstram-se inferior ao limite estabelecido segundo a NBR 6118 (2014), que corresponde à: $a = \frac{1}{250}$.

Também foi analisado que tanto para as lajes maciças quanto para as lajes lisas, os valores de flecha máxima calculados aumentam proporcionalmente ao aumento do tamanho do vão, isto ocorre, pois quanto maior a dimensão da laje maior o volume de concreto e quantidade de aço necessários, o que eleva de modo significativo o peso próprio da laje, causando flechas maiores.

Notar-se que o aumento exponencial na altura da laje lisa é justificado pelo aumento significativo dos esforços solicitantes, de modo que o peso próprio da laje maciça não aumenta de maneira considerável como acontece com as lajes lisas.

5.2 Quantitativo de Aço e Concreto

Os valores de consumo de aço e concreto para as lajes maciças e treliçadas, calculados conforme explicado no tópico 3.3, com vãos entre 2 e 6 metros, estão apresentados pelas Tabela 7 e Tabela 8 e gráficos das figuras 21 e 22 abaixo.

Tabela 7: Quantitativo de aço (kg).

Vão (m)	Altura maciça (cm)	Altura lisa (cm)	Consumo de aço - maciça	Consumo de aço - lisa	$\frac{\text{Consumo}_{\text{maciça}}}{\text{Consumo}_{\text{lisa}}}$
2,00	8,00	10,00	42,891	63,751	0,673
2,50	8,00	13,00	66,885	99,414	0,673
3,00	8,00	16,00	96,187	142,967	0,673
3,50	9,00	19,00	130,797	194,410	0,673
4,00	10,00	22,00	170,716	253,742	0,673
4,50	11,00	26,00	215,943	320,965	0,673
5,00	11,00	29,00	266,478	396,078	0,673
5,50	12,00	33,00	322,322	479,081	0,673
6,00	13,00	37,00	383,474	569,974	0,673

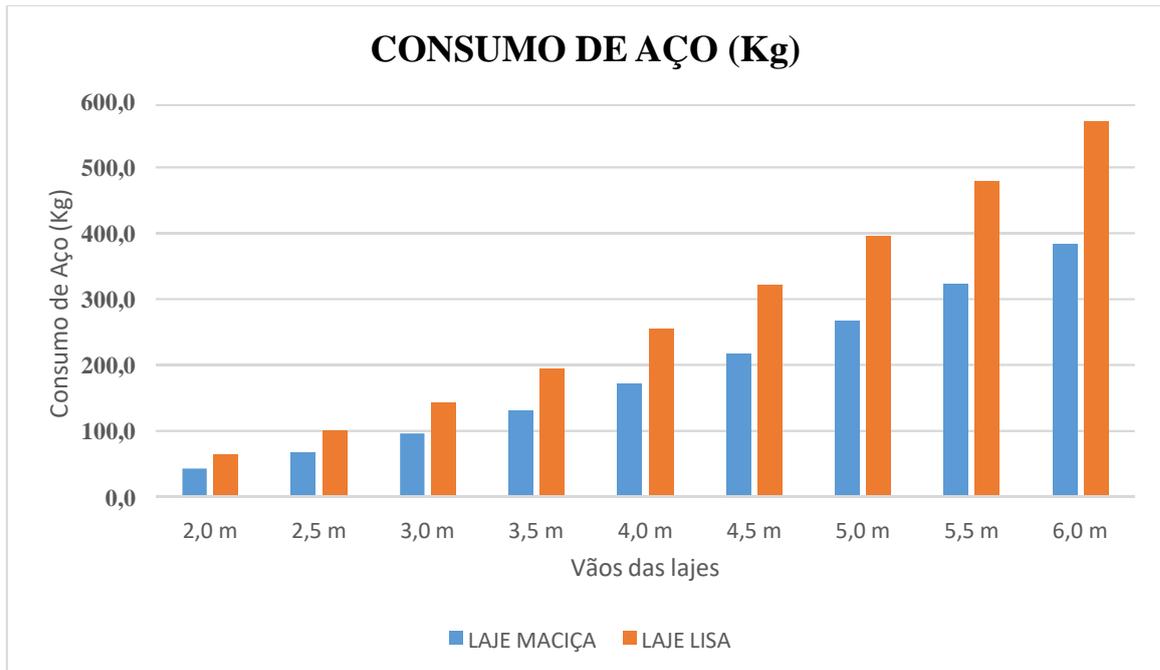


Figura 21: Comparativo de consumo de aço em função do vão.

Tabela 8: Quantitativo de concreto (m³).

Vão (m)	Altura maciça (cm)	Altura lisa (cm)	Consumo de concreto - maciça	Consumo de concreto - lisa	$\frac{\text{Consumo}_{\text{maciça}}}{\text{Consumo}_{\text{lisa}}}$
2,00	8,00	10,00	0,320	0,400	0,800
2,50	8,00	13,00	0,500	0,813	0,615
3,00	8,00	16,00	0,720	1,440	0,500
3,50	9,00	19,00	0,980	2,328	0,421
4,00	10,00	22,00	1,280	3,520	0,364
4,50	11,00	26,00	1,620	5,265	0,308
5,00	11,00	29,00	2,000	7,250	0,276
5,50	12,00	33,00	2,420	9,983	0,242
6,00	13,00	37,00	2,880	13,320	0,216

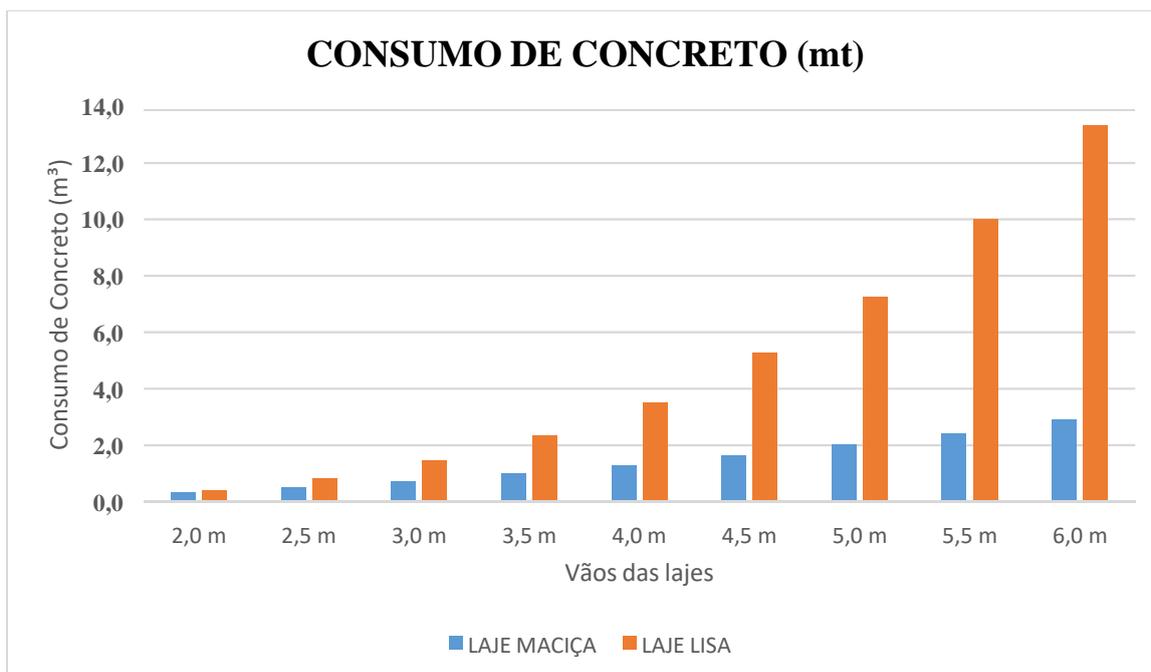


Figura 22: Comparativo de consumo de concreto em função do vão.

Como esperado, os resultados demonstram que os consumos são mais elevados de concreto para as lajes lisas do que para as lajes maciças, chegando a possuir para a lisa valores maiores que o dobro dos valores encontrados para a maciça.

Percebe-se que a relação de consumo de aço de laje maciça pelo consumo de aço da laje lisa se mantém constante, isso se dá pelo fato de ter sido adotado valores de bitolas padrões que variaram apenas em quantidade conforme o intervalo de 2 à 6 metros dos vãos, sendo em todos os casos calculados atendido os valores de área mínima de aço para o dimensionamento da armadura.

O consumo de concreto permanece maior a laje lisa em todos os valores de vão, e a relação de comparação com o consumo para a laje lisa não aumenta proporcionalmente ao aumento do tamanho do vão. Pois a laje lisa necessita de alturas mínimas maiores com o aumento do vão, além de aumentar o comprimento de concreto consumido, necessita-se de maior espessura para resistir aos esforços.

5.3 Orçamento

As tabelas referentes aos orçamentos da laje 3, para todos os valores de vão analisados conforme a Tabela 3, encontra-se no Apêndice A deste trabalho. As tabelas orçamentárias estão subdivididas em dois itens, sendo o item 1 correspondente ao custo para laje maciça, e o item 2 para laje lisa.

Com base nas tabelas orçamentárias apresentadas, elaborou-se o gráfico ilustrado pela Figura 23.

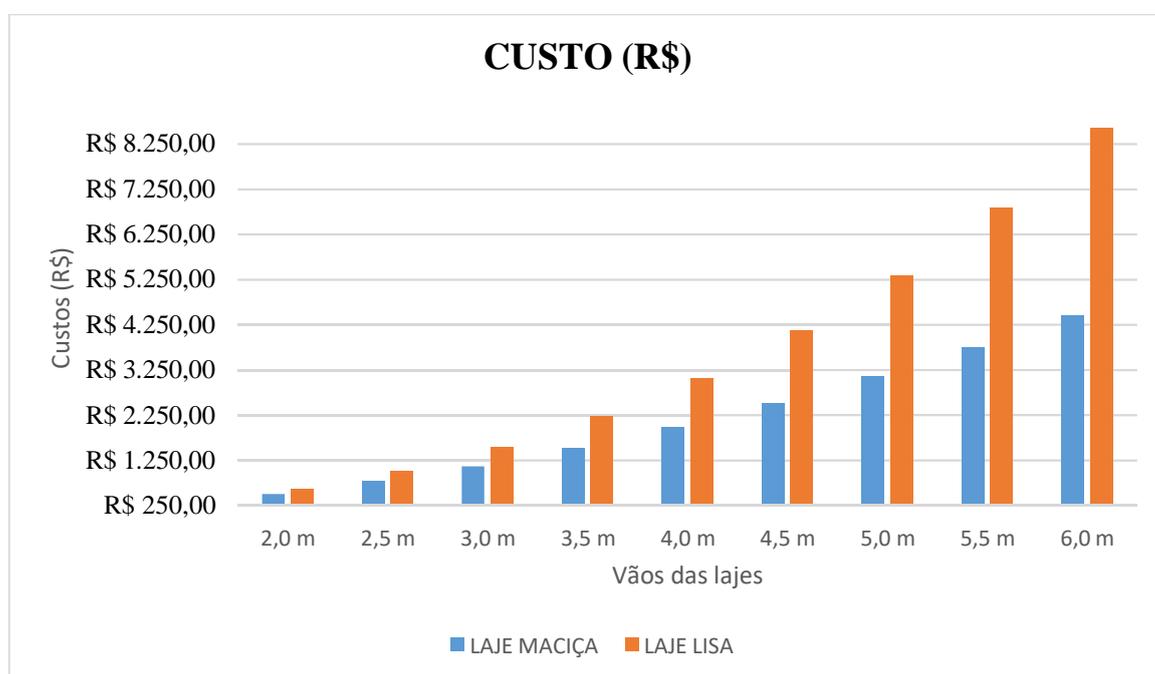


Figura 23: Comparativo dos custos da laje maciça e da laje lisa em função do vão.

Levando em consideração a análise feita a partir do gráfico, pode-se extrair que as lajes lisas apresentaram custos mais elevados do que as lajes maciças para todos os vãos estudados. Nota-se que a partir do vão de 4 metros, a diferença de preço entre os dois tipos de laje passa a ser quase o dobro conforme vai aumentando o vão, sendo que para o maior valor de vão analisado a laje maciça apresenta-se aproximadamente 48% mais econômica que a laje lisa.

6 CONCLUSÕES

Em verdade os dados analisados acima são comparativos de lajes maciças e lisas. Contudo, deve-se dar ênfase ao fato de não ter sido analisado a presença das vigas nos custos das lajes maciças, e nem das formas e mão de obra no caso das duas lajes. Evidentemente, que a presença destes elementos pode mudar as análises abaixo. Contudo, para a simplificação deste trabalho foram observadas as seguintes conclusões.

Com base nas tabelas e gráficos apresentados, que ambas as lajes analisadas são eficientes para o projeto em análise, uma vez que os resultados de desempenho gerados obedecem aos valores de flechas máximas ($a = \frac{l}{250}$) pré-determinados pela norma NBR 6118 (2014) para os dois tipos de laje.

Entre tanto, observou-se que as lajes maciças apresentaram menores custos em relação às lisas. As lajes maciças, possuem flechas maiores para os vãos de 4,5; 5; 5,5 e 6 metros em relação a laje lisa, fato esse justificado por suas alturas serem menores.

Comparando o consumo de materiais a laje maciça apresenta maior economia tanto em relação ao consumo de aço quanto ao de concreto, sendo que essa economia fica cada vez mais evidente com o aumento do vão, influenciando diretamente no orçamento. Todavia para pequenos vãos que a diferença entre os consumos de matérias não é tão significativa.

Com intuito de gerar resultados mais precisos, também poderiam ser analisados e comparados custos e dimensionamento das formas e escoras para os dois tipos de laje.

7 TRABALHOS FUTUROS

Sugere-se trabalhos futuros para complementar as análises deste trabalho, tais como avaliar a influência da presença das vigas na laje maciça com relação ao custo; verificar quantitativamente o custo das formas de ambas as lajes (maciça e lisa); analisar o quanto a mão de obra influencia do ponto de vista financeiro e sugere-se também as lajes estudadas nesse trabalho com o modelo estrutural de lajes treliçadas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7480**: aço destinado a armaduras para estruturas de concreto armado – especificação. Rio de Janeiro, 2007.

CARVALHO, R.C. **Cálculo e detalhamento de estruturas usuais de concreto armado**: segundo a NBR 6118:2003. 3. Ed. São Carlos: EdUFSCar, 2009.

LIMA NETO, A. F. **Punção em Lajes Cogumelo de Concreto Armado com Capitéis. Tese de Doutorado em Estruturas e Construção Civil**. Publicação E.TD. – 003 A/12 Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília. Brasília, DF. 167p., 2012.

CAMPOS, A. F. G. F. **Comparação dos modelos estruturais entre lajes maciças e treliçadas**. 2018. 60p. Monográfica (Curso de Engenharia Civil). Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia Goiano – Campus Rio Verde, Rio Verde, GO, 2018.

BASTOS, P. S. S. **Apostila de lajes de concreto**. Universidade estadual Paulista. Bauru, 2015.

BASTOS, P. S. S. **Flexão normal simples – vigas**. Universidade Estadual Paulista. Bauru, 2015.

VASCONCELLOS, J.C. **Concreto Armado, Arquitetura Moderna, Escola Carioca – Levantamento e Notas**. 313f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura) – Universidade de Estado do Rio de Janeiro. Porto Alegre, 2004.

ARAÚJO, J. M. **Curso de concreto armado**. 3. Ed. Rio Grande: Dunas, v. 2, 2010.

PEREIRA, C., 2019. Disponível em: < <https://www.escolaengenharia.com.br/laje/> >. Acesso em 28 de abril de 2021.

SILVA, B. R. **Contribuições à análise estrutural de lajes pré-fabricadas com vigotas treliçadas**. 150f. Dissertação (Pós-Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, 2012.

SMIRIGLIO, G. S. **Análise comparativa de projeto de um pavimento, feito em lajes maciças convencionais e em lajes lisas.** Dissertação (Graduação) – UFRJ/ Escola Politécnica, 2014.

FARIA, M. P. **Estruturas para edifícios em concreto armado: análise comparativa de soluções com lajes convencionais, lisas e nervuradas.** 2010. 97 f. Trabalho de Diplomação (Graduação em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

DOPPELREITER, Willian S. **Estudo comparativo dos modelos de análise estrutural empregados para o dimensionamento de lajes lisas.** 2015 – Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Curso de Engenharia de Produção Civil – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba – 2015.

SINAPI – **Índices da Construção Civil.** Disponível em: <https://www.caixa.gov.br/site/Paginas/downloads.aspx#categoria_646>. Acesso em 04 de abril de 2021.

ANEXO A

Quadro 1: Coeficientes α para cálculo de flechas elásticas em lajes retangulares submetidas a carregamento uniformemente distribuído.

λ	Caso 1	Caso 2	Caso 3	Caso 4	Caso 5	Caso 6	Caso 7	Caso 8	Caso 9
1,00	4,67	3,20	3,20	2,42	2,21	2,21	1,81	1,81	1,46
1,05	5,17	3,61	3,42	2,67	2,55	2,31	2,04	1,92	1,60
1,10	5,64	4,04	3,63	2,91	2,92	2,41	2,27	2,04	1,74
1,15	6,09	4,47	3,82	3,12	3,29	2,48	2,49	2,14	1,87
1,20	6,52	4,91	4,02	3,34	3,67	2,56	2,72	2,24	1,98
1,25	6,95	5,34	4,18	3,55	4,07	2,63	2,95	2,33	2,10
1,30	7,36	5,77	4,35	3,73	4,48	2,69	3,16	2,42	2,20
1,35	7,76	6,21	4,50	3,92	4,92	2,72	3,36	2,48	2,30
1,40	8,14	6,62	4,65	4,08	5,31	2,75	3,56	2,56	2,37
1,45	8,51	7,02	4,78	4,23	5,73	2,80	3,73	2,62	2,45
1,50	8,87	7,41	4,92	4,38	6,14	2,84	3,91	2,68	2,51
1,55	9,22	7,81	5,00	4,53	6,54	2,86	4,07	2,53	2,57
1,60	9,54	8,17	5,09	4,65	6,93	2,87	4,22	2,87	2,63
1,65	9,86	8,52	5,13	4,77	7,33	2,87	4,37	2,78	2,68
1,70	10,15	8,87	5,17	4,88	7,70	2,88	4,51	2,79	2,72
1,75	10,43	9,19	5,26	4,97	8,06	2,88	4,63	2,81	2,76
1,80	10,71	9,52	5,36	5,07	8,43	2,89	4,75	2,83	2,80
1,85	10,96	9,82	5,43	5,16	8,77	2,89	4,87	2,85	2,83
1,90	11,21	10,11	5,50	5,23	9,08	2,90	4,98	2,87	2,85
1,95	11,44	10,39	5,58	5,31	9,41	2,90	5,08	2,89	2,88
2,00	11,68	10,68	5,66	5,39	9,72	2,91	5,19	2,91	2,91
∞	15,35	15,35	6,38	6,38	15,35	3,07	6,38	3,07	3,07

Fonte: Carvalho (2019).

Quadro 2: Valores de ψ_2 utilizados no pré-dimensionamento da altura das lajes.

λ	Caso 1	Caso 2	Caso 3	Caso 4	Caso 5	Caso 6	Caso 7	Caso 8	Caso 9
1,00	1,50	1,70	1,70	1,80	1,90	1,90	2,00	2,00	2,20
1,05	1,48	1,67	1,69	1,78	1,87	1,89	1,97	1,99	2,18
1,10	1,46	1,64	1,67	1,76	1,83	1,88	1,94	1,97	2,15
1,15	1,44	1,61	1,66	1,74	1,80	1,87	1,91	1,96	2,13
1,20	1,42	1,58	1,64	1,72	1,76	1,86	1,88	1,94	2,10
1,25	1,40	1,55	1,63	1,70	1,73	1,85	1,85	1,93	2,08
1,30	1,38	1,52	1,61	1,68	1,69	1,84	1,82	1,91	2,05
1,35	1,36	1,49	1,60	1,66	1,66	1,83	1,79	1,90	2,03
1,40	1,34	1,46	1,58	1,64	1,62	1,82	1,76	1,88	2,00
1,45	1,32	1,43	1,57	1,62	1,59	1,81	1,73	1,87	1,98
1,50	1,30	1,40	1,55	1,60	1,55	1,80	1,70	1,85	1,95
1,55	1,28	1,37	1,54	1,58	1,52	1,79	1,67	1,84	1,93
1,60	1,26	1,34	1,52	1,56	1,48	1,78	1,64	1,82	1,90
1,65	1,24	1,31	1,51	1,54	1,45	1,77	1,61	1,81	1,88
1,70	1,22	1,28	1,49	1,52	1,41	1,76	1,58	1,79	1,85
1,75	1,20	1,25	1,48	1,50	1,38	1,75	1,55	1,78	1,83
1,80	1,18	1,22	1,46	1,48	1,34	1,74	1,52	1,76	1,80
1,85	1,16	1,19	1,45	1,46	1,31	1,73	1,49	1,75	1,78
1,90	1,14	1,16	1,43	1,44	1,27	1,72	1,46	1,73	1,75
1,95	1,12	1,13	1,42	1,42	1,24	1,71	1,43	1,72	1,73
2,00	1,10	1,10	1,40	1,40	1,20	1,70	1,40	1,70	1,70

Fonte: Carvalho (2019).

Quadro 3: Valores de ψ_3 utilizados no pré-dimensionamento da altura das lajes.

Aço	Vigas e lajes nervuradas	Lajes maciças
CA-25	25	35
CA-32	22	33
CA-40	20	30
CA-50	17	25
CA-60	15	20

Fonte: Carvalho (2019).

Quadro 4: Coeficientes para o cálculo dos momentos máximos em lajes retangulares uniformemente carregadas (Casos 1, 2 e 3).

λ	Caso 1				Caso 2				Caso 3			
	μ_x	μ_y	μ'_x	μ'_y	μ_x	μ_y	μ'_x	μ'_y	μ_x	μ_y	μ'_x	μ'_y
1,00	4,41	4,41	-	-	3,07	3,94	-	8,52	3,94	3,07	8,52	-
1,05	4,80	4,45	-	-	3,42	3,78	-	8,79	4,19	2,84	8,91	-
1,10	5,18	4,49	-	-	3,77	3,90	-	9,18	4,43	2,76	9,30	-
1,15	5,56	4,49	-	-	4,14	3,97	-	9,53	4,64	2,68	9,63	-
1,20	5,90	4,48	-	-	4,51	4,05	-	9,88	4,85	2,59	9,5	-
1,25	6,27	4,45	-	-	4,88	4,10	-	10,16	5,03	2,51	10,22	-
1,30	6,60	4,42	-	-	5,25	4,15	-	10,41	5,20	2,42	10,48	-
1,35	6,93	4,37	-	-	5,60	4,18	-	10,64	5,36	2,34	10,71	-
1,40	7,25	4,33	-	-	5,95	4,21	-	10,86	5,51	2,25	10,92	-
1,45	7,55	4,30	-	-	6,27	4,19	-	11,05	5,64	2,19	11,10	-
1,50	7,86	4,25	-	-	6,60	4,18	-	11,23	5,77	2,12	11,27	-
1,55	8,12	4,20	-	-	6,90	4,17	-	11,39	5,87	2,04	11,42	-
1,60	8,34	3,14	-	-	7,21	4,14	-	11,55	5,98	1,95	11,55	-
1,65	8,62	4,07	-	-	7,42	4,12	-	11,67	6,07	1,87	11,67	-
1,70	8,86	4,00	-	-	7,62	4,09	-	11,79	6,16	1,79	11,80	-
1,75	9,06	3,96	-	-	7,66	4,05	-	11,88	6,24	1,74	11,92	-
1,80	9,27	3,91	-	-	7,69	3,99	-	11,96	6,31	1,68	12,04	-
1,85	9,45	3,83	-	-	8,22	3,97	-	12,03	6,38	1,64	12,14	-
1,90	9,63	3,75	-	-	8,74	3,94	-	12,14	6,43	1,59	12,24	-
1,95	9,77	3,71	-	-	8,97	3,88	-	12,17	6,47	1,54	12,29	-
2,00	10,00	3,64	-	-	9,18	3,80	-	12,20	6,51	1,48	12,34	-
...	12,57	3,77	-	-	9,18	3,80	-	12,20	7,61	1,48	12,76	-

Fonte: Carvalho (2009).

Quadro 5: Coeficientes para o cálculo dos momentos máximos em lajes retangulares uniformemente carregadas (Casos 4, 5 e 6).

λ	Caso 4				Caso 5				Caso 6			
	μ_x	μ_y	μ'_x	μ'_y	μ_x	μ_y	μ'_x	μ'_y	μ_x	μ_y	μ'_x	μ'_y
1,00	2,81	2,81	6,99	6,99	2,15	3,17	-	6,99	3,17	2,15	6,99	-
1,05	3,05	2,81	7,43	7,18	2,47	3,32	-	7,43	3,29	2,07	7,20	-
1,10	3,30	2,81	7,87	7,36	2,78	3,47	-	7,87	3,42	1,99	7,41	-
1,15	3,53	2,80	8,28	7,50	3,08	3,58	-	8,26	3,52	1,89	7,56	-
1,20	3,76	2,79	8,69	7,63	3,38	3,70	-	8,65	3,63	1,80	7,70	-
1,25	3,96	2,74	9,03	7,72	3,79	3,80	-	9,03	3,71	1,70	7,82	-
1,30	4,16	2,69	9,37	7,81	4,15	3,90	-	9,33	3,79	1,67	7,93	-
1,35	4,33	2,65	9,65	7,88	4,50	3,96	-	9,69	3,84	1,59	8,02	-
1,40	4,51	2,60	9,93	7,94	4,85	4,03	-	10,00	3,90	1,52	8,11	-
1,45	4,66	2,54	10,41	8,00	5,19	4,09	-	10,25	3,94	1,45	8,13	-
1,50	4,81	2,47	10,62	8,06	5,53	4,14	-	10,49	3,99	1,38	8,15	-
1,55	4,93	2,39	10,82	8,09	5,86	4,16	-	10,70	4,03	1,34	8,20	-
1,60	5,06	2,31	10,99	8,12	6,18	4,17	-	10,91	4,06	1,28	8,25	-
1,65	5,16	2,24	11,16	8,14	6,48	4,14	-	11,08	4,09	1,23	8,28	-
1,70	5,17	2,16	11,30	8,15	6,81	4,12	-	11,24	4,12	1,18	8,30	-
1,75	5,36	2,11	11,43	8,16	7,11	4,12	-	11,39	4,14	1,15	8,31	-
1,80	5,45	2,04	11,55	8,17	7,41	4,10	-	11,43	4,15	1,11	8,32	-
1,85	5,53	1,99	11,57	8,17	7,68	4,08	-	11,65	4,16	1,08	8,33	-
1,90	5,60	1,93	11,67	8,18	7,95	4,04	-	11,77	4,17	1,04	8,33	-
1,95	5,67	1,91	11,78	8,19	8,21	3,99	-	11,83	4,17	1,01	8,33	-
2,00	5,74	1,88	11,89	8,20	8,47	3,92	-	11,88	4,18	0,97	8,33	-
...	7,06	1,95	12,50	8,20	12,58	4,13	-	11,88	4,18	0,97	8,33	-

Fonte: Carvalho (2009).

Quadro 6: Coeficientes para o cálculo dos momentos máximos em lajes retangulares uniformemente carregadas (Casos 7, 8 e 9).

λ	Caso 7				Caso 8				Caso 9			
	μ_x	μ_y	μ'_x	μ'_y	μ_x	μ_y	μ'_x	μ'_y	μ_x	μ_y	μ'_x	μ'_y
1,00	2,13	2,60	5,46	6,17	2,60	2,13	6,17	5,46	2,11	2,11	5,15	5,15
1,05	2,38	2,66	5,98	6,46	2,78	2,09	6,47	5,56	2,31	2,10	5,50	5,29
1,10	2,63	2,71	6,50	6,75	2,95	2,04	6,76	5,65	2,50	2,09	5,85	5,43
1,15	2,87	2,75	7,11	6,97	3,09	1,98	6,99	5,70	2,73	2,06	6,14	5,51
1,20	3,11	2,78	7,72	7,19	3,23	1,92	7,22	5,75	2,94	2,02	6,43	5,59
1,25	3,43	2,79	8,81	7,36	3,34	1,85	7,40	5,75	3,04	1,97	6,67	5,64
1,30	3,56	2,77	8,59	7,51	3,46	1,78	7,57	5,76	3,13	1,91	6,90	5,68
1,35	3,76	2,74	8,74	7,63	3,55	1,72	7,70	5,75	3,25	1,86	7,09	5,69
1,40	3,96	2,71	8,88	7,74	3,64	1,64	7,82	5,74	3,38	1,81	7,28	5,70
1,45	4,15	2,67	9,16	7,83	3,71	1,59	7,91	5,73	3,48	1,73	7,43	5,71
1,50	4,32	2,63	9,44	7,91	3,78	1,53	8,00	5,72	3,58	1,66	7,57	5,72
1,55	4,48	2,60	9,68	7,98	3,84	1,47	8,07	5,69	3,66	1,60	7,68	5,72
1,60	4,63	2,55	9,91	8,02	3,89	1,42	8,14	5,66	3,73	1,54	7,79	5,72
1,65	4,78	2,50	10,13	8,03	3,94	1,37,00	8,20	5,62	3,80	1,47	7,88	5,72
1,70	4,92	2,45	10,34	8,10	3,98	1,32	8,25	5,58	3,86	1,40	7,97	5,72
1,75	5,04	2,39	10,53	8,13	4,01	1,27	8,30	5,56	3,91	1,36	8,05	5,72
1,80	5,17	2,20	10,71	8,17	4,04	1,20	8,34	5,54	3,95	1,32	8,12	5,72
1,85	5,26	2,27,00	10,88	8,16	4,07	1,17	8,38	5,55	3,98	1,26	8,18	5,72
1,90	5,36	2,22	11,04	8,14	4,10	1,14	8,42	5,56	4,01	1,21	8,24	5,72
1,95	5,45	2,14	11,20	8,13	4,11	1,11	8,45	5,60	4,04	1,19	8,29	5,72
2,00	5,55	2,07	11,35	8,12	4,13	1,08	8,47	5,64	4,07	1,16	8,33	5,72
...	7,07	2,05	12,50	8,12	4,18	1,09	8,33	5,64	4,19	1,17	8,33	5,72

Fonte: Carvalho (2009).

APÊNDICE A

Tabela 9: Orçamento para laje com vão de 2 metros.

Item	Serviço	Unid.	Quant.	Preço Unitário (R\$)	Total (R\$)
1	LAJE MACIÇA				
1.1	ACO CA-50, 6,3 MM, VERGALHAO	KG	42,891	9,18	393,74
	CONCRETO USINADO				
1.2	BOMBEAVEL, CLASSE DE RESISTENCIA C20	M ³	0,320	322,42	103,174
Total do item				R\$ 496,91	
2	LAJE LISA				
2.1	ACO CA-50, 16,0 MM, VERGALHAO	KG	63,751	7,54	480,68
	CONCRETO USINADO				
2.2	BOMBEAVEL, CLASSE DE RESISTENCIA C20	M ³	0,40	322,42	128,97
Total do item				R\$ 609,65	

Tabela 10: Orçamento para laje com vão de 2,5 metros.

Item	Serviço	Unid.	Quant.	Preço Unitário (R\$)	Total (R\$)
1	LAJE MACIÇA				
1.1	ACO CA-50, 6,3 MM, VERGALHAO	KG	66,885	9,18	614,00
	CONCRETO USINADO				
1.2	BOMBEAVEL, CLASSE DE RESISTENCIA C20	M ³	0,500	322,42	161,21
Total do item				R\$ 775,21	
2	LAJE LISA				
2.1	ACO CA-50, 16,0 MM, VERGALHAO	KG	99,414	7,54	749,58
	CONCRETO USINADO				
2.2	BOMBEAVEL, CLASSE DE RESISTENCIA C20	M ³	0,813	322,42	261,97
Total do item				R\$ 1011,55	

Tabela 11: Orçamento para laje com vão de 3 metros.

Item	Serviço	Unid.	Quant.	Preço Unitário (R\$)	Total (R\$)
1	LAJE MACIÇA				
1.1	ACO CA-50, 6,3 MM, VERGALHAO	KG	96,187	9,18	883,00
	CONCRETO USINADO				
1.2	BOMBEAVEL, CLASSE DE RESISTENCIA C20	M ³	0,720	322,42	232,14
Total do item				R\$ 1115,14	
2	LAJE LISA				
2.1	ACO CA-50, 16,0 MM, VERGALHAO	KG	142,967	7,54	1077,97
	CONCRETO USINADO				
2.2	BOMBEAVEL, CLASSE DE RESISTENCIA C20	M ³	1,440	322,42	464,28
Total do item				R\$ 1542,25	

Tabela 12: Orçamento para laje com vão de 3,5 metros.

Item	Serviço	Unid.	Quant.	Preço Unitário (R\$)	Total (R\$)
1	LAJE MACIÇA				
1.1	ACO CA-50, 6,3 MM, VERGALHAO	KG	130,797	9,18	1200,72
	CONCRETO USINADO				
1.2	BOMBEAVEL, CLASSE DE RESISTENCIA C20	M ³	0,980	322,42	315,97
Total do item				R\$ 1516,69	
2	LAJE LISA				
2.1	ACO CA-50, 16,0 MM, VERGALHAO	KG	194,410	7,54	1465,85
	CONCRETO USINADO				
2.2	BOMBEAVEL, CLASSE DE RESISTENCIA C20	M ³	2,328	322,42	750,43
Total do item				R\$ 2213,28	

Tabela 13: Orçamento para laje com vão de 4 metros.

Item	Serviço	Unid.	Quant.	Preço Unitário (R\$)	Total (R\$)
1	LAJE MACIÇA				
1.1	ACO CA-50, 6,3 MM, VERGALHAO	KG	170,716	9,18	1567,17
	CONCRETO USINADO				
1.2	BOMBEAVEL, CLASSE DE RESISTENCIA C20	M ³	1,280	322,42	412,70
Total do item				R\$ 1979,87	
2	LAJE LISA				
2.1	ACO CA-50, 16,0 MM, VERGALHAO	KG	253,742	7,54	1913,21
	CONCRETO USINADO				
2.2	BOMBEAVEL, CLASSE DE RESISTENCIA C20	M ³	3,520	322,42	1134,92
Total do item				R\$ 3048,13	

Tabela 14: Orçamento para laje com vão de 4,5 metros.

Item	Serviço	Unid.	Quant.	Preço Unitário (R\$)	Total (R\$)
1	LAJE MACIÇA				
1.1	ACO CA-50, 6,3 MM, VERGALHAO	KG	215,943	9,18	1982,36
	CONCRETO USINADO				
1.2	BOMBEAVEL, CLASSE DE RESISTENCIA C20	M ³	1,620	322,42	522,32
Total do item				R\$ 2504,68	
2	LAJE LISA				
2.1	ACO CA-50, 16,0 MM, VERGALHAO	KG	320,965	7,54	2420,08
	CONCRETO USINADO				
2.2	BOMBEAVEL, CLASSE DE RESISTENCIA C20	M ³	5,265	322,42	1697,54
Total do item				R\$ 4117,62	

Tabela 15: Orçamento para laje com vão de 5 metros.

Item	Serviço	Unid.	Quant.	Preço Unitário (R\$)	Total (R\$)
1	LAJE MACIÇA				
1.1	ACO CA-50, 6,3 MM, VERGALHAO	KG	266,478	9,18	2446,27
	CONCRETO USINADO				
1.2	BOMBEAVEL, CLASSE DE RESISTENCIA C20	M ³	2,000	322,42	644,84
Total do item				R\$ 3091,11	
2	LAJE LISA				
2.1	ACO CA-50, 16,0 MM, VERGALHAO	KG	396,078	7,54	2986,43
	CONCRETO USINADO				
2.2	BOMBEAVEL, CLASSE DE RESISTENCIA C20	M ³	7,250	322,42	2337,55
Total do item				R\$ 5323,98	

Tabela 16: Orçamento para laje com vão de 5,5 metros.

Item	Serviço	Unid.	Quant.	Preço Unitário (R\$)	Total (R\$)
1	LAJE MACIÇA				
1.1	ACO CA-50, 6,3 MM, VERGALHAO	KG	322,322	9,18	2958,92
	CONCRETO USINADO				
1.2	BOMBEAVEL, CLASSE DE RESISTENCIA C20	M ³	2,420	322,42	780,256
Total do item				R\$ 3739,18	
2	LAJE LISA				
2.1	ACO CA-50, 16,0 MM, VERGALHAO	KG	479,081	7,54	3612,27
	CONCRETO USINADO				
2.2	BOMBEAVEL, CLASSE DE RESISTENCIA C20	M ³	9,983	322,42	3218,56
Total do item				R\$ 6830,83	

Tabela 17: Orçamento para laje com vão de 6 metros.

Item	Serviço	Unid.	Quant.	Preço Unitário (R\$)	Total (R\$)
1	LAJE MACIÇA				
1.1	ACO CA-50, 6,3 MM, VERGALHAO	KG	383,474	9,18	3520,29
	CONCRETO USINADO				
1.2	BOMBEAVEL, CLASSE DE RESISTENCIA C20	M³	2,880	322,42	928,57
Total do item				R\$ 4448,86	
2	LAJE LISA				
2.1	ACO CA-50, 16,0 MM, VERGALHAO	KG	569,974	7,54	4297,60
	CONCRETO USINADO				
2.2	BOMBEAVEL, CLASSE DE RESISTENCIA C20	M³	13,320	322,42	4294,63
Total do item				R\$ 8592,23	