



Universidade Federal  
de São João del-Rei  
**CAMPUS ALTO PARAÓPEBA**  
**CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

*GABRIEL ARANTES DIAS*  
*TIAGO PEREIRA DOS ANJOS*

**AVALIAÇÃO DA ECONOMIA DE AÇO EM LAJES MACIÇAS  
DE CONCRETO UTILIZANDO ARMADURA ALTERNADA**

Ouro Branco - MG

2020



Universidade Federal  
de São João del-Rei  
**CAMPUS ALTO PARAPEBA**  
**CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

## **AVALIAÇÃO DA ECONOMIA DE AÇO EM LAJES MACIÇAS DE CONCRETO UTILIZANDO ARMADURA ALTERNADA**

Monografia apresentada à Coordenação do Curso de Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de São João del-Rei, como requisito parcial para a obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil.

**Orientadora:** Dra. Dalilah Pires Maximiano.

Ouro Branco - MG

2020

# FOLHA DE APROVAÇÃO

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO JOÃO DEL-REI  
CAMPUS ALTO PARAÓPEBA

## DECLARAÇÃO DE APROVAÇÃO

**Título:** *Avaliação da economia de aço em lajes maciças de concreto utilizando armadura alternada*

Autores: Gabriel Arantes Dias  
Tiago Pereira dos Anjos

Aprovado como requisito parcial para a obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil.



Prof.<sup>a</sup> Dra. Dalilah Pires Maximiano - UFSJ  
(Orientadora)



Prof.<sup>a</sup> Dra. Ana Amélia Oliveira Mazon - UFSJ  
(Banca Examinadora)



Prof. Dr. Lucas Roquete Amparo - UFSJ  
(Banca Examinadora)

Ouro Branco-MG  
Outubro de 2020

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	1
1.1	Tipos de lajes .....	1
1.1.1	Lajes maciças.....	1
1.1.2	Lajes nervuradas.....	2
1.1.3	Lajes cogumelo.....	2
2	OBJETIVOS.....	3
2.1	Objetivo geral.....	3
2.2	Objetivo específico .....	3
3	APRESENTAÇÃO DO PROJETO.....	3
4	DEFINIÇÕES DE DIMENSIONAMENTO.....	5
4.1	Vãos teóricos.....	5
4.2	Condições de vinculação.....	6
4.2.1	Análise Inicial.....	6
4.2.2	Confirmação da vinculação adotada.....	8
4.3	Configurações de pré-dimensionamento.....	9
4.3.1	Espessura .....	9
4.4	Ações a serem consideradas.....	12
4.5	Característica dos esforços.....	13
5	TEORIA DE FLEXÃO DE PLACAS.....	13
5.1	Introdução .....	13
5.2	Teoria de Kirchhoff.....	14
5.3	Hipóteses básicas da teoria clássica de flexão de Kirchhoff.....	14
5.4	Solução da equação diferencial da placa .....	15
6	METODOLOGIA DE DIMENSIONAMENTO.....	17
6.1	Tipo de armação.....	17
6.2	Análise de vinculação .....	18
6.3	Espessura e pré dimensionamento da altura útil.....	19

6.4	Ações.....	19
6.5	Verificação do estado limite de serviço .....	21
6.6	Reações de apoio e momentos fletores .....	23
6.7	Compatibilização de momentos fletores .....	25
6.8	Dimensionamento das armaduras .....	25
6.8.1	Armadura negativa .....	27
6.8.2	Armadura positiva .....	29
6.9	VERIFICAÇÃO AO CISALHAMENTO (ELU).....	33
6.9.1	Verificação da Laje 8.....	34
7	RESULTADOS .....	35
7.1	Resultados parciais.....	35
7.2	Resultados totais .....	36
7.3	Discussões.....	38
8	CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	39
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	40
	Anexo A – Tabela 1.4a.....	41
	Anexo B – Pranchas subsolos e pavimento tipo.....	42
	Anexo C – Prancha subsolos, reservatório e cobertura .....	43

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Redução de aço CA50 e CA60 .....	37
Gráfico 2 - Economia total com aço por diâmetro de barra .....	38
Gráfico 3 - Comparativo de economia nas configurações alternada e contínua .....	38

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Planta do pavimento Subsolo 2.....	4
Figura 2 - Planta do pavimento do Subsolo 1.....	4
Figura 3- Planta do Pavimento Térreo.....	4
Figura 4 - Planta do Pavimento Tipo.....	5
Figura 5- Planta do Pavimento Barriletes e Reservatório Superior.....	5
Figura 6 - Representação de vãos teórico e livre.....	6
Figura 7 - Casos de vinculação das lajes.....	7
Figura 8 - Caso específico de vinculação.....	8
Figura 9 - Critério para considerar bordas engastadas.....	9
Figura 10- Geometria e carregamento da placa.....	15
Figura 11 - Laje 8, Pavimento Tipo.....	18
Figura 12 - Arquitetônico sobre a L8.....	20
Figura 13 - Armaduras Negativas da Laje 8.....	29
Figura 14 - Comprimento e distribuição das armaduras positivas.....	32
Figura 15 - Armadura positiva da Laje 8.....	33

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Critérios para bordas com uma parte engastada e outra parte apoiada .....	8
Tabela 2 - Valores do coeficiente adicional $\gamma_n$ para lajes em balanço .....	10
Tabela 3 - Correspondência entre a classe de agressividade ambiental e o cobrimento nominal $c = 10$ mm.....	11
Tabela 4 - Peso específico aparente dos materiais de construção .....	12
Tabela 5 - Valores característicos nominais das cargas variáveis .....	13
Tabela 6 - Cargas utilizadas para dimensionamento da L8 .....	20
Tabela 7 - Valores dos coeficientes para análise em ELS .....	22
Tabela 8 - Coeficientes da Tabela de Bares (1972) e Pinheiro (1993) para $\lambda = 1,05$ .....	24
Tabela 9 - Resultados de reações de apoio e momentos fletores na L8 .....	24
Tabela 10 - Resultados da compensação de momentos entre a L1 e a L8 .....	25
Tabela 11 - Taxas mínimas de armadura.....	27
Tabela 12 - Comparativo de aço nos pavimentos térreo e subsolo 1 .....	35
Tabela 13 - Comparativo de aço no pavimento tipo.....	35
Tabela 14 - Comparativo de aço nos pavimentos superiores .....	36
Tabela 15 - Gasto total com aço nas lajes do edifício .....	36
Tabela 16 - Redução de aço pela configuração alternada .....	36
Tabela 17 - Valor total investido em aço nas configurações contínua e alternada segundo SINAPI 01/2020 .....	37



## **RESUMO**

O presente trabalho apresenta o dimensionamento de lajes maciças, com armadura de flexão alternada, em um edifício de médio porte composto por: dois pavimentos de garagem, térreo, e sete pavimentos de apartamentos tipo, sendo quatro apartamentos por andar, além de cobertura, barriletes e reservatório superior. Esse dimensionamento é proposto na teoria de flexão de placas, método estudado e difundido nos cursos de Engenharia Civil no Brasil considerando os Estados Limites de Serviço e Último. O objetivo é fazer o comparativo entre o tipo de armação alternada e o tipo contínuo no dimensionamento. Os quantitativos das armaduras e a economia de material gerada com a armação de forma alternada são mostrados ao final do trabalho, onde obteve-se uma economia geral de 12% em aço, o que corresponde a pouco mais de R\$ 15.000,00 de economia gerada pela metodologia em estudo.

*Palavras-chave:* Lajes Maciças Alternadas; Dimensionamento de lajes em concreto armado; Detalhamento de Lajes.

# 1 INTRODUÇÃO

As lajes são os elementos estruturais bidimensionais planos, e que são solicitadas, predominantemente, por cargas perpendiculares ao seu plano. Têm a função básica de receber as cargas de utilização das edificações, distribuir as ações horizontais entre os elementos estruturais de contraventamento, além de funcionarem como mesas de compressão das vigas T aplicadas nos pisos, e transmitir-las às vigas. As vigas transmitem as cargas aos pilares e, a partir destes, o carregamento é transferido para as fundações. Apesar de haver outras possibilidades de concepção, este é o modelo estrutural básico das edificações, como dito por Araújo (2014).

Os pisos das edificações podem ser executados com diferentes tipos de lajes, como as lajes maciças, lajes nervuradas, lajes cogumelo, além de diversos tipos de lajes pré-moldadas. A definição do tipo de laje a ser utilizado depende de considerações econômicas e de segurança, sendo uma função do projeto arquitetônico em análise.

A laje maciça, que é composta por concreto em toda sua espessura além de armaduras de flexão e eventualmente armaduras transversais está presente nos mais variados tipos de construções. São comumente utilizados em construções modulares, devido a rapidez de execução, uma vez que a concretagem é feita toda de uma única vez. Podem ser armadas em uma ou duas direções e geralmente as barras vão de uma viga a outra como dito por Bastos (2015).

## 1.1 TIPOS DE LAJES

### 1.1.1 Lajes Maciças

As lajes maciças são placas de espessura uniforme em concreto armado, apoiadas ao longo de seu contorno. Esse tipo de solução é amplamente utilizado em edifícios residenciais, devidos os vãos são relativamente pequenos como dito por Araújo (2014). A classificação de laje maciças estão relacionadas aos dois vãos perpendiculares. Assim temos dois grupos:

- *Armadas em uma única direção*: São aquelas cuja a relação entre o maior e o menor vão é maior que dois;

- *Armadas em duas direções*: São aquelas cuja a relação entre o maior e o menor vão é menor ou igual dois.

### **1.1.2 Lajes Nervuradas**

A laje nervurada pode ser entendida como um elemento estrutural constituído por famílias de vigas que se cruzam, solidarizam entre si pela mesa. Pode-se manter as nervuras aparentes ou utilizar um material inerte para vedação. Apoiam-se em vigas em seu contorno.

O uso de laje nervurada é empregado em situações onde o uso de lajes maciças levaria a valores de altura superiores a 15 cm. As alturas superiores a essa em lajes maciças é exigida quase que apenas para satisfazer o estado limite de serviço (limitação das flechas) e não de resistência, como dito por Bastos (2015).

As lajes nervuradas têm o consumo de concreto diminuído e o peso próprio aliviado, pois na formação dos painéis são escolhidos materiais mais leves que o concreto, sem prejuízo da altura da seção resistente e conseqüentemente da rigidez. Esse tipo de laje é indicado em vãos com grandes dimensões.

### **1.1.3 Lajes Cogumelo**

As lajes cogumelo são lajes maciças apoiadas diretamente sobre os pilares, sem vigas. No Brasil é comum empregar o termo laje cogumelo para designar qualquer sistema de lajes sem vigas, embora alguns autores, façam a distinção entre as que têm capitéis (lajes cogumelo) e as que não os tem (lajes sem vigas). Geralmente, procura-se evitar os capitéis de modo a obter tetos lisos e, conseqüentemente, a simplificação de fôrmas.

O sistema de lajes cogumelos apresentam algumas vantagens como:

- Adaptabilidade a diversas formas do ambiente;
- Simplificação de fôrmas;
- Simplificação de armaduras;
- Simplificação na concretagem;
- Redução do tempo de execução;
- Menor custo de fôrmas.

Embora sejam consideráveis as vantagens, existem algumas desvantagens que devem ser analisadas no período de concepção do projeto estrutural, e podem até mesmo inviabilizar o uso desse tipo de laje em determinadas situações. Pode-se destacar:

- Punção em lajes;
- Deslocamentos transversais das lajes;
- Instabilidade Global do edifício.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 OBJETIVO GERAL**

O objetivo deste trabalho é a análise e o dimensionamento de lajes maciças de concreto armado com armaduras positivas e negativas alternadas em um edifício de médio porte, evidenciando a economia gerada por esse tipo de armação. O estudo será baseado na norma vigente para o dimensionamento de estruturas em concreto armado NBR 6118:2014.

### **2.2 OBJETIVO ESPECÍFICO**

O trabalho tem os seguintes objetivos específicos:

- Estudo do Projeto Arquitetônico escolhido para análise da economia;
- Desenvolver planilha de cálculo de dimensionamento de lajes maciças utilizando-se a Teoria das Placas, com base na teoria matemática da elasticidade;
- Dimensionamento e análise comparativa dos resultados obtidos;
- Verificar a economia e a segurança proporcionada pelo método.

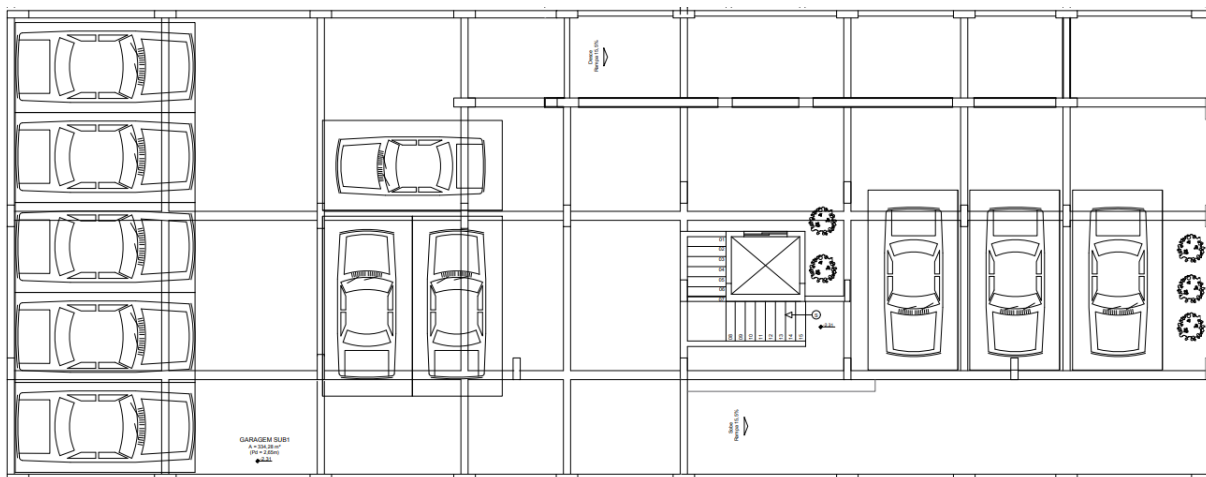
## **3 APRESENTAÇÃO DO PROJETO**

Como dito anteriormente o objetivo do trabalho é o dimensionamento de todas as lajes de um edifício de médio porte composto por: dois pavimentos de garagem, térreo, e sete pavimentos de apartamentos tipo, sendo dois apartamentos por andar, além de cobertura, barriletes e reservatório superior, nas configurações alternada e contínua. A economia será gerada através da diminuição das armaduras positivas e negativas empregadas para resistir aos esforços de momento e cortante que as lajes são submetidas.

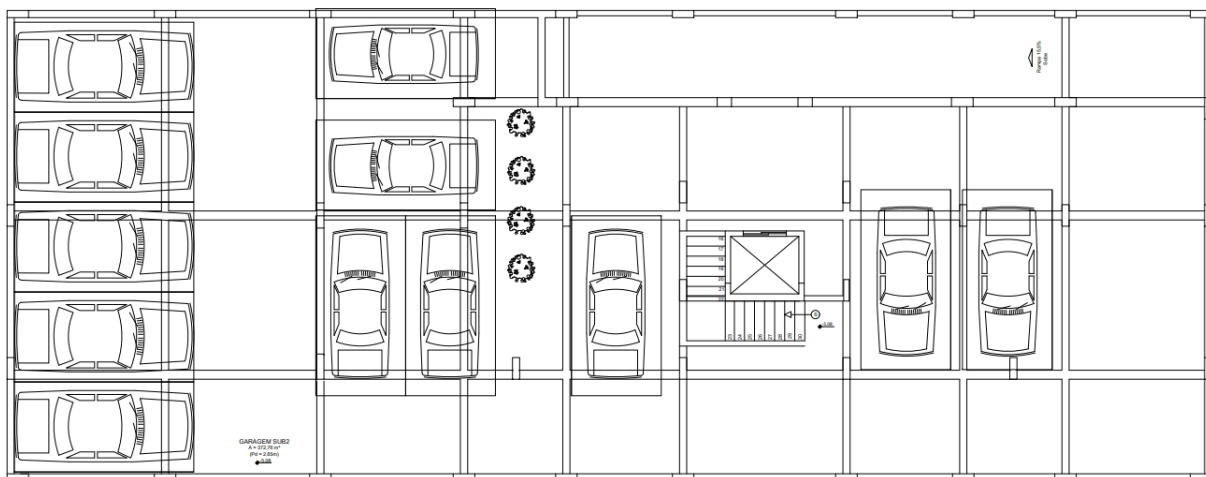
Afim de se obter um estudo focado na economia gerada pela aplicação da configuração alternada, será estudado apenas uma laje, entre as inúmeras lajes que compõem o edifício, para exemplificar o dimensionamento. A laje escolhida foi a Laje 8 (L8) do pavimento tipo, uma laje que apresenta algumas características interessantes, como por exemplo: um bordo livre, uma laje em balanço engastada, a possibilidade de estudo de engastamento em outras duas lajes, além de carga de parede sobre ela. Entendendo o dimensionamento da Laje 8, pode-se aplicar os mesmos princípios para todas as demais lajes e obter-se os resultados finais que serão apresentados.

É apresentado nas Figuras 1 e 2 as plantas dos pavimentos de garagem do edifício estudado.

*Figura 1 - Planta do pavimento Subsolo 2*

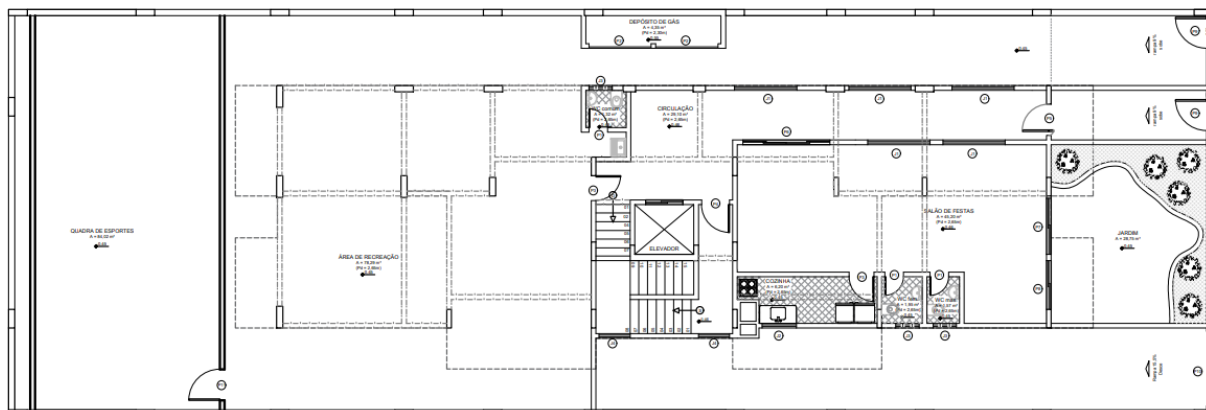


*Figura 2 - Planta do pavimento do Subsolo 1*



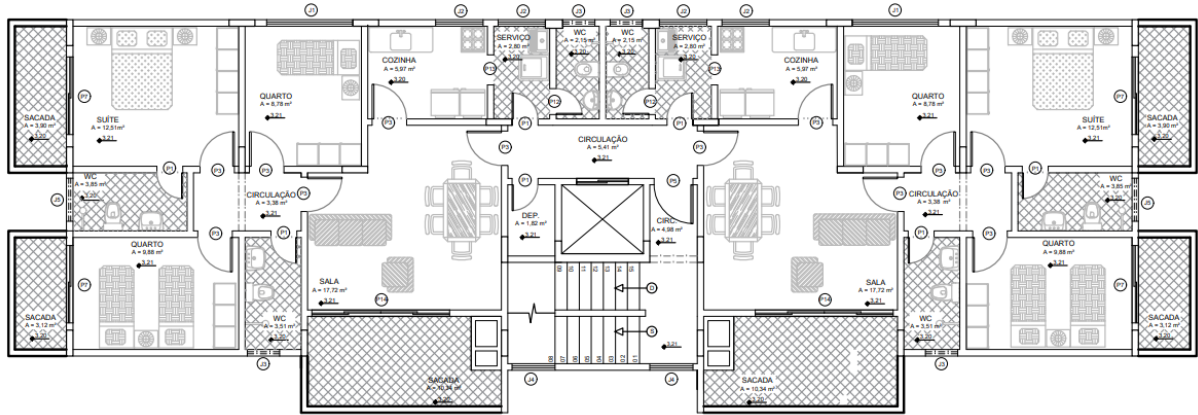
Na Figura 3 é apresentada a planta do pavimento Térreo, um pavimento social com salão de festas, quadra poliesportiva, além de um jardim.

*Figura 3- Planta do Pavimento Térreo*



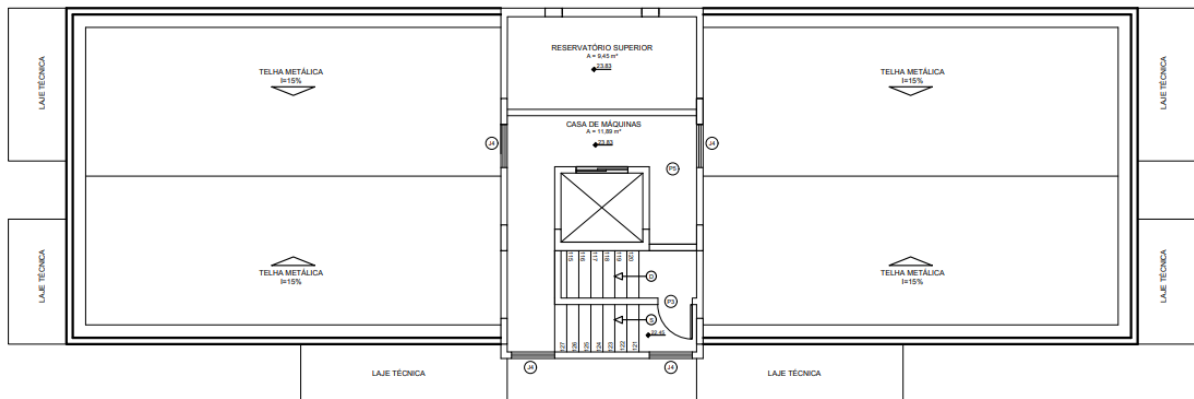
A planta do pavimento Tipo é apresentada na Figura 4, com dois apartamentos por andar, onde cada apartamento possui três quartos, sendo uma suíte, sala, cozinha, dois banheiros sociais, área de serviço, e varandas.

Figura 4 - Planta do Pavimento Tipo



Já na Figura 5 é apresentado a planta do pavimento Barriletes e Reservatório Superior, pavimento de cobertura, casa de máquinas do elevador e reservatório de água do edifício.

Figura 5- Planta do Pavimento Barriletes e Reservatório Superior



Detalhes da Laje 8, laje em estudo, será apresentado no Capítulo 6 deste trabalho.

## 4 DEFINIÇÕES DE DIMENSIONAMENTO

### 4.1 VÃOS TEÓRICOS

Vão teórico ou vão de cálculo,  $l$ , é a distância entre os centros dos apoios. Nas lajes em balanço, o comprimento teórico é o comprimento da extremidade livre até o centro do apoio. Entretanto, de acordo com a NBR-6118:2014 e apresentado por Araújo (2014), não é necessário adotar valores maiores que os calculados pela Equação (4.1):

$$l_t = l_0 + 0,6.h \quad (4.1)$$

Onde:

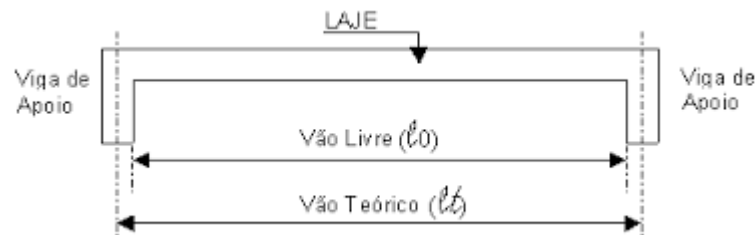
$l_t$  é o vão teórico;

$l_0$  é o vão livre;

$h$  é a espessura da laje.

Quando a largura das vigas de apoio não é muito grande, as diferenças entre a distância entre os centros dos apoios e os limites indicados anteriormente na equação são pequenas. Assim, nos casos correntes dos edifícios, é usual adotar como vão teórico a distância entre os centros dos apoios, como indicado na Figura 6.

Figura 6 - Representação de vãos teórico e livre



A definição do vão máximo é algo bastante subjetivo. Naturalmente, quanto maior o vão de uma laje, maior a altura para resistir aos esforços solicitantes. Porém lajes maciças com alturas elevadas podem tornar-se um problema quando começam a prejudicar o pé-direito do pavimento. Além disso, como a laje suporta o próprio peso, uma parte considerável da sua capacidade resistente acaba sendo destinada a isso, como dito por Bastos (2015).

Assim, a partir de vãos de 8 m, é recomendável o emprego de lajes nervuradas, a razão disso deve-se a redução do peso próprio da laje, tornando a solução mais atrativa conforme dito por Araújo (2014).

## 4.2 CONDIÇÕES DE VINCULAÇÃO

### 4.2.1 Análise Inicial

Com relação ao tipo de vinculação entre as lajes dimensionadas, pode-se destacar basicamente três tipos, sendo eles: borda livre, borda simplesmente apoiada e borda engastada. No primeiro caso a inexistência de um apoio permite deslocamentos verticais, no segundo caso, não existem deslocamentos verticais e não há transferência de momento proveniente das ações sobre a laje, já no terceiro tipo há uma fixação rígida da peça à estrutura, possibilitando a compensação entre os momentos das lajes.

Pode-se verificar que as condições de engastamento mudam quando lajes adjacentes apresentam espessuras diferentes, porém, não será abordado esse tipo de vinculação, uma vez que nesse trabalho optou-se por uma uniformização entre as espessuras das lajes em um mesmo pavimento.

É apresentado na Figura 7 os possíveis casos de vinculação nas lajes.

Figura 7 - Casos de vinculação das lajes

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

Fonte: Pinheiro (2007)

Deve-se verificar também a veracidade do engastamento. A laje adjacente, por hora chamada de laje 2, e a que está em estudo, laje 1, devem ter tamanhos proporcionais para que a condição de engastamento seja válida. Inicialmente, estima-se que a condição é atendida quando o comprimento da laje 2, perpendicular ao lado da laje 1 atenda ao apresentado na Equação (4.2).

$$\text{Comprimento do lado da laje 1} = L1$$

$$\text{Comprimento do lado da laje 2} = L2$$

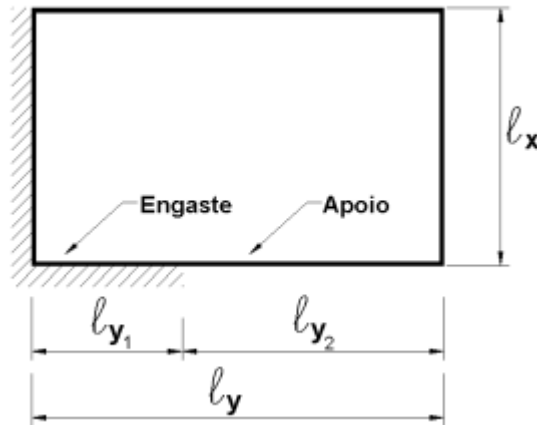
(4.2)

$$L2 \geq \frac{1}{3} L1$$

Uma particularidade que pode ocorrer é que, em uma mesma borda, tem-se uma parte engastada e outra apoiada, conforme apresentado na Figura 8:



Figura 8 - Caso específico de vinculação



Fonte: Pinheiro (2007)

Para fins de dimensionamento considera-se o proposto na Tabela 1.

Tabela 1 - Critérios para bordas com uma parte engastada e outra parte apoiada

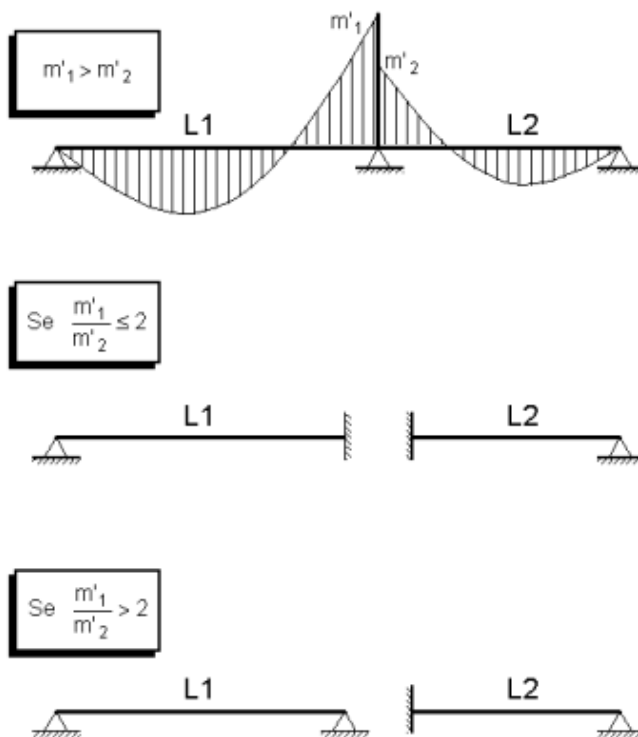
$l_{y_1} \leq l_y/3$	Considera-se a borda totalmente apoiada
$l_y/3 < l_{y_1} < 2l_y/3$	Calculam-se os esforços para as duas situações: – borda totalmente apoiada e borda totalmente engastada – e adotam-se os maiores valores no dimensionamento
$l_{y_1} \geq 2l_y/3$	Considera-se a borda totalmente engastada

Fonte: Pinheiro (2007)

#### 4.2.2 Confirmação da Vinculação Adotada

Após o dimensionamento é possível confirmar a validade dos engastamentos adotados por meio da diferença entre os momentos negativos, podendo levar à consideração de borda engastada para uma das lajes e simplesmente apoiada para a outra, em vez de engastada para ambas. Se o resultado do momento negativo da laje 1 dividido pelo momento negativo da laje 2 for menor ou igual a 2, as duas lajes são consideradas engastadas, mas se maior que 2, apenas a laje 2 será engastada. Tais considerações são indicadas na Figura 9.

Figura 9 - Critério para considerar bordas engastadas



Fonte: Pinheiro (2007)

É importante salientar que critérios como este devem ser cuidadosamente analisados, tendo em conta a necessidade de garantir a segurança estrutural.

### 4.3 CONFIGURAÇÕES DE PRÉ-DIMENSIONAMENTO

#### 4.3.1 Espessura

De acordo com o item 13.2.4.1 da NBR 6118:2014, as espessuras das lajes devem respeitar os seguintes limites mínimos:

- 7 cm para cobertura não em balanço;
- 8 cm para lajes de piso não em balanço;
- 10 cm para lajes em balanço;
- 10 cm para lajes que suportem veículos de peso total menor ou igual a 30 kN;
- 12 cm para lajes que suportem veículos de peso total maior que 30 kN;

Porém, é necessário comprovar se a espessura mínima é a indicada durante o pré-dimensionamento. Para lajes retangulares com bordas apoiadas ou engastadas, a altura útil  $d$  (em cm) pode ser estimada por meio da Equação (4.3):

$$d = (2,5 - 0,1n)l^*/100 \quad (4.3)$$

Onde:

$n$  é o número de bordas engastadas;

$l^*$  é o menor valor entre  $l_x$  e  $0,7l_y$ .

Para lajes em balanço, pode ser usado o critério proposto por Carvalho (2014), apresentado como Equação (4.4):

$$d = l_x / \psi_2 \psi_3 \quad (4.4)$$

Os coeficientes  $\psi_2$  e  $\psi_3$  dependem da vinculação e do tipo de aço, respectivamente. Podem ser encontrados nas Tabelas de Lajes proposta por Libânio (2007).

Para elementos estruturais esbeltos críticos, como pilares e pilares-paredes com espessura inferior a 19 cm e lajes em balanço com espessura inferior a 19 cm, os esforços solicitantes de cálculo devem ser multiplicados pelo coeficiente de ajustamento  $\gamma_n$  conforme tabela 13.2 da NBR 6118:2014, aqui representada na Tabela 2.

Tabela 2 - Valores do coeficiente adicional  $\gamma_n$  para lajes em balanço

$h$ cm	$\geq 19$	18	17	16	15	14	13	12	11	10
$\gamma_n$	1,00	1,05	1,10	1,15	1,20	1,25	1,30	1,35	1,40	1,45

onde

$\gamma_n = 1,95 - 0,05 h$ ;

$h$  é a altura da laje, expressa em centímetros (cm).

NOTA O coeficiente  $\gamma_n$  deve majorar os esforços solicitantes finais de cálculo nas lajes em balanço, quando de seu dimensionamento.

Fonte: NBR 6118:2014

A altura da laje se dá pela soma entre altura útil, meio diâmetro da armadura longitudinal da laje e cobrimento, conforme apresentado na Equação (4.5). Como inicialmente não se conhece o diâmetro da barra longitudinal da laje, este deve ser estimado. Para a maioria das lajes esse diâmetro fica em torno de 5 a 8 mm.

$$h = d + \phi_l/2 + c \quad (4.5)$$

Sendo:

$h$  a espessura da laje;

$d$  a altura útil;

$\phi_l$  o diâmetro da armadura longitudinal;

$c$  o cobrimento da laje.

Na NBR 6118:2014 também são especificados os valores mínimos de cobrimento para armaduras das lajes, de acordo com a agressividade do meio em que se encontram, conforme mostrado pela Tabela 3.

Tabela 3 - Correspondência entre a classe de agressividade ambiental e o cobrimento nominal  $c = 10$  mm

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

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

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

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

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

Fonte: NBR 6118:2014

De acordo com o tipo de empreendimento em estudo, a classe de agressividade adotada foi a 2. De acordo com a NBR 6118:2014, se refere a uma agressividade moderada referente a um ambiente urbano onde o risco de deterioração é pequeno.

#### 4.4 AÇÕES A SEREM CONSIDERADAS

As cargas presentes nas lajes são as cargas acidentais e permanentes. As cargas permanentes são aquelas que possuem valores constantes ou com pequena variabilidade durante praticamente toda a vida útil da estrutura. Já as cargas acidentais sofrem variações significativas durante todo o período de utilização da edificação.

O carregamento permanente é composto pelo peso próprio da laje, revestimento, paredes de alvenaria e enchimentos. As cargas de utilização variam de acordo com a finalidade do edifício e incluem o peso de pessoas, materiais diversos, móveis, veículos e etc.

Os valores de cargas permanentes podem ser obtidos a partir do peso próprio do material empregado e estão presentes nas normas NBR 6120:2019 e 6118:2014, que fornecem também os valores característicos das cargas acidentais a serem considerados no projeto estrutural.

Para o dimensionamento realizado nesse trabalho foram utilizados os pesos específicos que estão presentes na Tabela 4, para as cargas permanentes e os valores característicos nominais propostos na Tabela 5:

*Tabela 4 - Peso específico aparente dos materiais de construção*

Aço Estrutural	78,5	kN/m <sup>3</sup>
Concreto Armado	25,0	kN/m <sup>3</sup>
Tijolo Furado	13,0	kN/m <sup>3</sup>
Argamassa de cal, cimento e areia	19,0	kN/m <sup>3</sup>

*Fonte: Adaptado de NBR 6120.2019*

Foi considerado para cargas de parede, tijolo furado de dimensões 11,5x15x24 cm e argamassa com 1,5 cm de espessura de cada lado.

Para o teto da casa de máquinas de elevadores, é necessário prever cargas concentradas para os ganchos de suspensão dos equipamentos. Foram utilizados nesse trabalho dois ganchos que vão trabalhar com 40 kN por gancho, proposto pelo item “g” da tabela 10 disposta na NBR 6120:2019.

Tabela 5 - Valores característicos nominais das cargas variáveis

Barriletes	1,5	kN/m <sup>2</sup>
Casa de Máquinas de elevador de passageiros ( $v \leq 1,0$ m/s)	30	kN/m <sup>2</sup>
Balcões, sacadas, varandas e terraços	2,5	kN/m <sup>2</sup>
Coberturas Com acesso apenas para manutenção ou inspeção	1,0	kN/m <sup>2</sup>
Edifícios residenciais - Dormitórios; Sala; Copa; Cozinha; Sanitários	1,5	kN/m <sup>2</sup>
Edifícios residenciais - Área de serviço e lavanderia	2,0	kN/m <sup>2</sup>
Edifícios residenciais - Corredores de Uso Comum	3,0	kN/m <sup>2</sup>
Edifícios residenciais - Escadas	2,5	kN/m <sup>2</sup>
Garagens	3,0	kN/m <sup>2</sup>

Fonte: Adaptado de NBR6120.2019

## 4.5 CARACTERÍSTICA DOS ESFORÇOS

As lajes maciças são constituídas de dois materiais básicos, o concreto simples e a armadura, que possibilita que resistam solidariamente aos esforços a que são submetidos. O concreto simples tem como propriedade marcante uma boa resistência à compressão, porém uma baixa resistência à tração. Para sanar essa deficiência, é adicionado ao concreto a armadura que tem elevada resistência à tração, formando assim o concreto armado, que é predominante no país como apresentado por Santos (2006).

Para um melhor aproveitamento dos materiais é recomendado que o dimensionamento estrutural da flexão simples seja realizado no limite do Estado Limite Ultimo, onde ocorre o esmagamento do concreto e o escoamento do aço, tal dimensionamento propicia um aviso prévio de ruptura do elemento, caso seja ultrapassado sua capacidade resistente, proporcionando mais segurança ao usuário.

Em estruturas de edifícios, é comum adotar-se uma altura tal que seja dispensado o uso de armadura de cisalhamento, necessária para resistir os esforços cortantes provenientes das ações de utilização. Observa-se que na maioria dos casos a altura exigida pela norma NBR 6118:2014, é suficiente para dispensar a armadura transversal e resistir a flexão.

## 5 TEORIA DE FLEXÃO DE PLACAS

### 5.1 INTRODUÇÃO

As placas são elementos largamente utilizados em projetos estruturais no campo da Engenharia Civil, e são presentes em estruturas de lajes de edifícios, pontes, reservatórios, silos

e contenções. A análise e deformação nas placas de concreto devido aos carregamentos presentes na edificação é de interesse do projetista.

A teoria de flexão de placas é um dos mais importantes tópicos da teoria da elasticidade sob o ponto de vista de aplicação na Engenharia. No entanto deve-se ressaltar que essa teoria representa uma aproximação bidimensional para um problema extremamente complexo e tridimensional.

## 5.2 TEORIA DE KIRCHHOFF

As simplificações para o cálculo de lajes maciças, com o emprego da teoria clássica de Kirchhoff proposto por Araújo (2014) visa a análise de placas com pequenos deslocamentos, sob ação de carregamentos transversais baseando nas seguintes condições:

- Apoios rígidos;
- Emprego de Armadura de canto;
- Consideração de cargas triangulares e trapezoidais, ou cargas parcialmente distribuídas, para o cálculo das vigas de apoio.

A teoria da flexão faz parte da teoria da elasticidade e tem o objetivo de resolver e analisar o comportamento de elementos de placa, elementos onde a espessura é muito menor que as outras dimensões de seu plano. A solução do problema é obtida resolvendo uma equação diferencial de quarta ordem, juntamente com as condições de contorno que são presentes nesses elementos. Admite-se que a matéria apresente um comportamento elástico-linear.

## 5.3 HIPÓTESES BÁSICAS DA TEORIA CLÁSSICA DE FLEXÃO DE KIRCHHOFF

As hipóteses básicas sobre as quais se fundamenta a Teoria Clássica de Kirchhoff, são as seguintes:

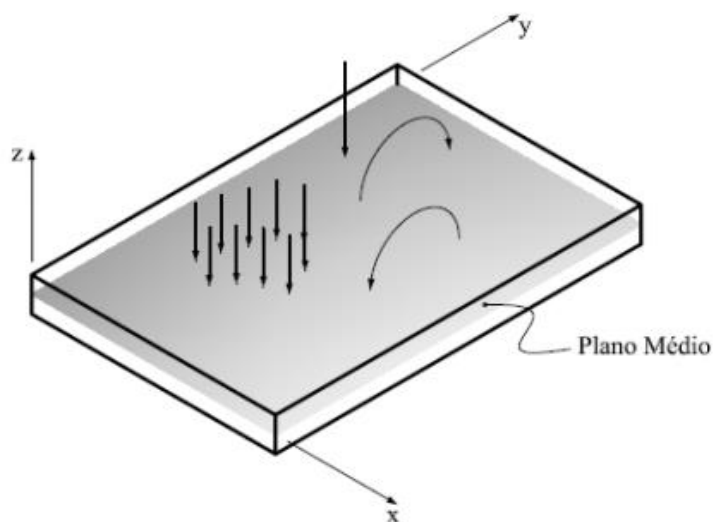
- A placa é constituída de um material elástico linear, homogêneo e isotrópico;
- Os deslocamentos existentes transversais são pequenos, quando comparado com a espessura da laje;
- Uma reta inicialmente normal ao plano médio, permanece, após a flexão da placa, normal ao plano médio na configuração deformada. Isto significa que as deformações e as tensões normais correspondentes, paralelas ao plano médio, variam de forma linear e assimétrica ao longo de sua espessura.
- São consideradas nulas as contribuições devido ao esforço de cisalhamento transversal;

- As tensões aplicadas nas superfícies externas são menores quando comparada as tensões normais da flexão, paralelas ao plano médio.

## 5.4 SOLUÇÃO DA EQUAÇÃO DIFERENCIAL DA PLACA

A Teoria das Placas, é solucionada com base matemática na teoria da elasticidade, onde o material que possui as características citadas anteriormente, proporciona a equação geral das placas, que relaciona sua deformação elástica com a carga uniformemente distribuída na área da placa como mostra a Figura 10.

Figura 10- Geometria e Carregamento da Placa



Fonte: Saliba (2007)

A Equação (5.1) que soluciona esse fenômeno é:

$$\frac{\partial^4 w}{\partial x^4} + 2 \frac{\partial^4 w}{\partial x^2 \partial y^2} + \frac{\partial^4 w}{\partial y^4} = \frac{p}{D} \quad (5.1)$$

Onde:

$w$  é o deslocamento Vertical da Placa;

$p$  é o carregamento na Placa;

$D$  é a rigidez da placa à Flexão.

A solução para a equação diferencial do 4º grau proposta por Kirchhoff é uma tarefa muito complexa, viabilizado por um cálculo mais rápido através das tabelas que fornecem o



cálculo de esforços e reações de apoio em lajes, pode-se citar, por exemplo, as tabelas de Szilard, Kalmanok, Hahn e Barés, sendo a última empregada neste trabalho. Em geral as tabelas apresentam diferenças numéricas decorrentes dos valores utilizados para o coeficiente de Poisson e aproximações adotadas.

Os esforços à flexão obtidas através da Tabela de Barés adaptada por Pinheiro (1993) que fornecem os momentos fletores, negativos e positivos, são calculados pela Equação (5.2):

$$M = \mu \frac{pl_x^2}{100} \quad (5.2)$$

Sendo:

$M$  o momento fletor (kN.m/m);

$\mu$  o coeficiente tabelado, de acordo com cada tipo de laje e em função da relação dos lados;

$p$  o valor da carga uniforme ou triangular atuante na laje (kN/m<sup>2</sup>);

$l_x$  o menor vão da laje (m).

As reações de apoio, assim como no cálculo dos momentos fletores solicitantes, apresentam coeficientes presentes nas tabelas que auxiliam a obtenção das reações de apoio das lajes, armadas em uma ou duas direções, e são obtidas através da Equação (5.3):

$$V = v \frac{pl_x}{10} \quad (5.3)$$

Onde:

$V$  é a reação de apoio (kN/m);

$v$  é o coeficiente tabelado, de acordo com cada tipo de laje e em função da relação dos lados;

$p$  é o valor da carga uniforme ou triangular atuante na laje (kN/m<sup>2</sup>);

$l_x$  é o menor vão da laje (m).

Com a implementação das tabelas, percebe-se uma maior agilidade no cálculo das solicitações e reações das lajes maciças em análise linear-elástica. Esse método é difundido no ensino de Engenharia Civil, e aplicado em projetos, entretanto deve-se respeitar sua limitação e condicionantes conforme dito por Bastos (2015).

O método simplificado utilizado nesse trabalho é baseado na teoria de flexão de placas são satisfatórios para a maioria das aplicações. Entretanto algumas plastificações e redistribuições de esforços deverão ocorrer na estrutura real. Felizmente, as lajes maciças possuem uma grande capacidade de redistribuição de esforços, o que possibilita uma segurança estrutural satisfatória.

## 6 METODOLOGIA DE DIMENSIONAMENTO

### 6.1 TIPO DE ARMAÇÃO

O dimensionamento de lajes maciças, se inicia por sua classificação quanto a armação empregada. Dependendo de suas dimensões as lajes podem ser armadas para resistir aos esforços em uma ou duas direções a depender da Equação (6.1) e apresentado pela Figura 8.

$$\lambda = l_y / l_x \quad (6.1)$$

Sendo:

$l_y$  o maior vão teórico

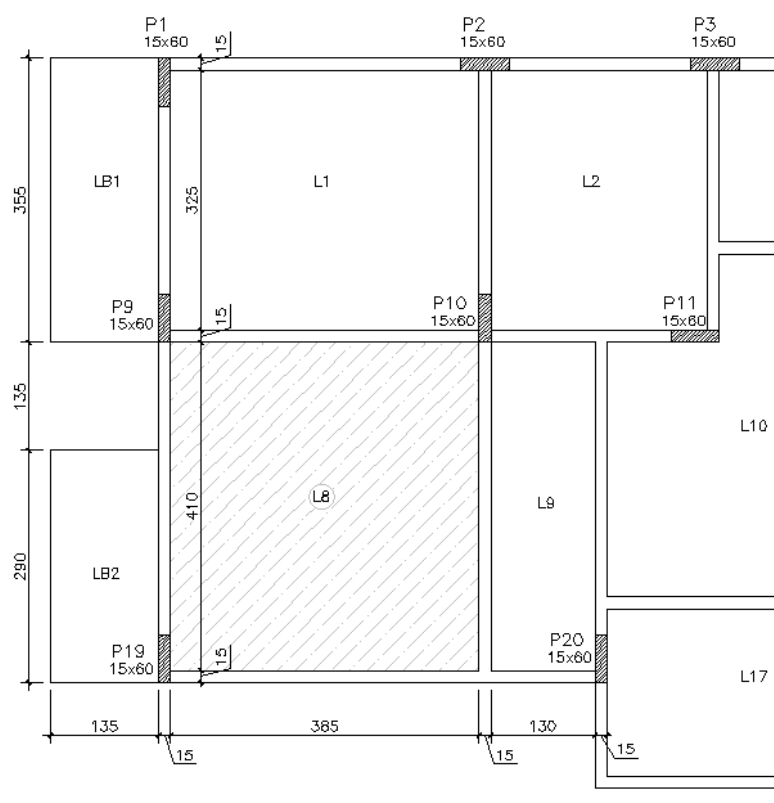
$l_x$  o menor vão teórico

Se  $\lambda \leq 2$  a laje deve ser armada em duas direções, se  $\lambda > 2$  a laje deve ser armada apenas em uma direção. Porém, o que acontece na verdade é que mesmo lajes armadas em uma direção são armadas em duas, a armadura na menor direção é calculada para resistir ao momento fletor solicitante em sua totalidade, como se fosse um conjunto de vigas-faixa. Já na maior direção é colocadas armaduras de distribuição com diâmetro mínimo, com o objetivo de solidarizar as faixas de laje da direção principal, como bem explica Pinheiro (2007).

O resultado desta divisão influenciará na escolha do coeficiente utilizado para o cálculo das reações de apoio das lajes nas vigas e dos momentos fletores, conforme aplicação nas Tabelas propostas por Bares (1972).

Para melhor compreensão será abordado um exemplo de cálculo da Laje 8 do pavimento tipo, retirado do próprio projeto em estudo, identificada na Figura 11.

Figura 11 - Laje 8, Pavimento Tipo



Na Figura 11, pode-se perceber que a laje 8, possui 410 x 385 cm, considerando os vãos teóricos soma-se os meios das vigas que a constituem, ficando então com as dimensões 425 x 400 cm. Como  $l_y$  é o maior vão teórico este recebe o comprimento de 425 cm já  $l_x$  recebe o comprimento de 400 cm. Feito a divisão encontra-se o valor de  $\lambda = 1,05$ , portanto esta laje deve ser armada em duas direções.

## 6.2 ANÁLISE DE VINCULAÇÃO

Analisando a Figura 11, com base nos critérios descritos no Item 4.2, percebe-se que três outras lajes fazem divisa com a L8, sendo elas: L9, a direita, L1, acima e LB2, a esquerda.

Nota-se que abaixo da L8 não há laje, portanto na face inferior da laje 8 já sabemos que a vinculação será apoiada. A LB2 a esquerda é uma laje em balanço, portanto ela é engastada. Para encontrar o tipo de vinculação nas outras duas lajes, é necessário verificar a proporcionalidade entre elas.

O lado perpendicular a L8 de L1 possui 325 cm, sendo comparado com a medida 385 cm, já o lado perpendicular a L8 de L9 possui 130 cm, sendo comparado com a medida 410 cm. Observa-se a aplicação da Equação (6.1) .

$385/3 = 128,33 < 325$  logo, a laje está engastada.

$410/3 = 136,67 > 130$  logo, a laje está apoiada.

Portanto a laje do exemplo, L8, considera-se o tipo de Vinculação 2A, engastada em um dos menores lados.

### 6.3 ESPESSURA E PRÉ DIMENSIONAMENTO DA ALTURA ÚTIL

Conforme apresentado no item 4.3, a altura útil pode ser calculada após estabelecido alguns critérios de projeto. Para a L8, tem-se que:

$$n = 1;$$

$l^* = 297,50$  , uma vez que:

$$l_x = 400 \text{ cm}$$

$$0,7l_y = 297,50 \text{ cm.}$$

Sendo assim, aplica-se o apresentado na Equação (4.3):

$$d = (2,5 - (0,1 * 1)) * 297,50 / 100$$

$$d = 7,14 \text{ cm}$$

E através da Equação (4.5) encontra-se a espessura da laje:

$$h = 7,14 + \left(\frac{5}{10}\right) / 2 + 2,5$$

$$h = 9,89 \text{ cm}$$

O que nos leva em critérios práticos a uma laje de 10 cm de espessura.

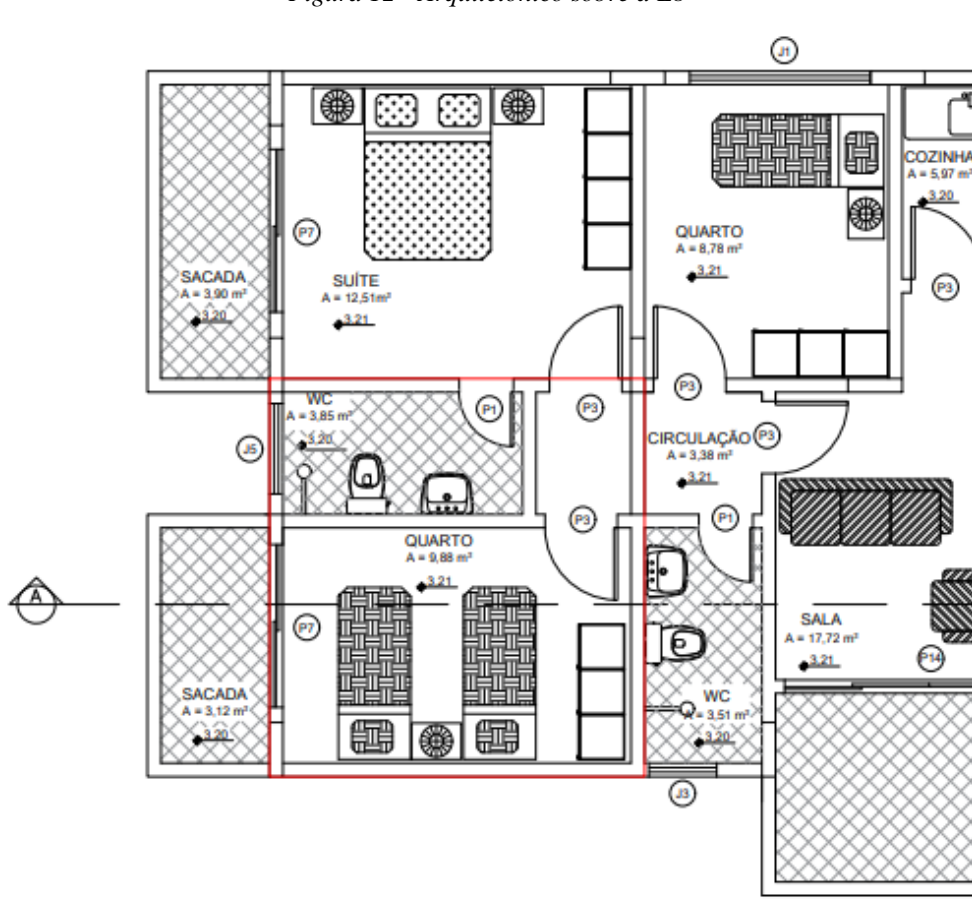
Por padronização, mesmo que algumas lajes pudessem ser de 8 cm, optou-se por adotar 10 cm em todas as lajes do pavimento tipo, a fim de facilitar a execução.

Da mesma forma optou-se pela padronização de lajes de 12 cm para os níveis de subsolo, como recomendado pela NBR 6118:2014, para lajes que suportam veículos com mais de 30 kN.

### 6.4 AÇÕES

Conforme apresentado no Item 4.4, deve-se considerar cargas permanentes e de utilização previsto na NBR 6120:2019. Sobre a laje L8, tem-se cargas pontuais de parede conforme ilustrado na Figura 12.

Figura 12 - Arquitetônico sobre a L8



No dimensionamento da laje L8 foram utilizadas as seguintes cargas apresentadas na Tabela 6:

Tabela 6 - Cargas utilizadas para dimensionamento da L8

Carregamento Permanente	Carga	Total de Cargas
Peso Próprio – Concreto Armado	2,5 kN/m <sup>2</sup>	Permanentes 4,78 kN
Revestimento	0,6 kN/m <sup>2</sup>	
Extra – Carga de Parede	1,68 kN/m <sup>2</sup>	
<b>Sobrecarga de utilização</b>	Carga	Variáveis
Edifícios residenciais - Área de serviço, lavanderia	2,00 kN/m <sup>2</sup>	2,00 kN/m <sup>2</sup>

Nota-se que foi utilizado a sobrecarga de área de serviço e lavanderia ao invés de carga para dormitórios e sanitários, critério esse adotado pelo projetista por fins de segurança de acordo com a NBR 6118:2014.

Outro ponto a ser destacado é quanto a carga de parede empregada. Os pavimentos tipo possuem 2,65 m de pé direito, e ao todo soma-se 5,15 m de parede, portanto 13,65 m<sup>2</sup>.

Descontando-se a abertura da porta de 1,68m<sup>2</sup> e multiplicando por 2,39 kN/m<sup>2</sup>, que é a carga por m<sup>2</sup> de parede conforme apresentado no Capítulo 4.4, encontra-se 27,89 kN o que, dividido pela área da laje, resulta em 1,68 kN/m<sup>2</sup> aplicado ao dimensionamento.

## 6.5 VERIFICAÇÃO DO ESTADO LIMITE DE SERVIÇO

Uma etapa fundamental no projeto de estruturas é a análise e comprovação da não ocorrência dos estados limites de serviço, que englobam as deformações excessivas e as fissuras.

Tanto o deslocamento quanto a abertura de fissuras, são verificados separadamente, embora exista uma relação próxima entre eles. Geralmente não é necessário verificar o estado de fissuração das lajes maciças de edifícios, pois as bitolas das barras utilizadas são bem pequenas, e sabe-se que o diâmetro da bitola é diretamente proporcional a fissuração, assim considera-se que a laje esteja no Estádio I que não possui fissuração.

### 6.5.1.1 Combinações das ações de serviço

Os estados limites de utilização decorrem de ações cujas combinações podem ter diferentes ordens de grandeza e permanência na estrutura. No concreto armado é comum a utilização das combinações quase permanentes e as combinações frequentes de ações como proposto por Araújo (2014).

- a) Combinações quase permanentes: São combinações que podem atuar durante grande parte do período de vida da estrutura, da ordem da metade deste período.
- b) Combinações frequentes: São combinações que se repetem muitas vezes durante o período de vida, ou que tenham duração total igual a uma parte não desprezível desse período, da ordem de 5%.

As ações permanentes são consideradas com seu valor total característico, já as ações variáveis são consideradas com os seus valores reduzidos de utilização, e são determinados a partir dos valores característicos pelas expressões  $\psi_1 F_k$  e  $\psi_2 F_k$ . Os coeficientes de redução empregados estão conforme a norma NBR 6118:2014, como mostrado na Tabela 7.

Tabela 7 - Valores dos coeficientes para análise em ELS

Ações		$\gamma_{f2}$		
		$\psi_0$	$\psi_1^a$	$\psi_2$
Cargas acidentais de edifícios	Locais em que não há predominância de pesos de equipamentos que permanecem fixos por longos períodos de tempo, nem de elevadas concentrações de pessoas <sup>b</sup>	0,5	0,4	0,3
	Locais em que há predominância de pesos de equipamentos que permanecem fixos por longos períodos de tempo, ou de elevada concentração de pessoas <sup>c</sup>	0,7	0,6	0,4
	Biblioteca, arquivos, oficinas e garagens	0,8	0,7	0,6
Vento	Pressão dinâmica do vento nas estruturas em geral	0,6	0,3	0
Temperatura	Variações uniformes de temperatura em relação à média anual local	0,6	0,5	0,3

<sup>a</sup> Para os valores de  $\psi_1$  relativos às pontes e principalmente para os problemas de fadiga, ver Seção 23.  
<sup>b</sup> Edifícios residenciais.  
<sup>c</sup> Edifícios comerciais, de escritórios, estações e edifícios públicos.

Fonte: NBR 6118.2014

### 6.5.1.2 Cálculo da Deformação

São analisadas três flechas para análise do estado limite de serviço, sendo: imediata, deferida e total. Após isso, encontra-se a flecha admissível e todas devem atender aos limites normativos.

Inicialmente, precisa-se conhecer o módulo de elasticidade secante obtido segundo os ensaios descritos na NBR 8522:2017. Quando não forem feitos ensaios e não existirem dados mais precisos sobre o concreto, é utilizado a idade de 28 dias, para determinar sua resistência característica à compressão, que influencia o módulo de deformação longitudinal. Pode-se estimar o valor do módulo de elasticidade tangencial usando a Equação (6.2):

$$E_{ci} = \alpha_E \cdot 5600 \cdot \sqrt{f_{ck}} \quad (6.2)$$

Onde:

$f_{ck}$  é a resistência característica do concreto a compressão;

$\alpha_E$  é o coeficiente que relacionado ao tipo de agregado graúdo.

Feito isso é possível obter o valor da flecha imediata, dada pela Equação (6.3):

$$f_i = \alpha \frac{p_i \cdot a^4}{E_{cs} \cdot h^3} \quad (6.3)$$

Onde:

$f_i$  é a flecha imediata;

$\alpha$  é o coeficiente obtido através das tabelas de BARES;

$p_i$  é a combinação de serviço (kN/m<sup>2</sup>);

$a$  é o vão da laje armada em uma direção- menor vão (m);

$E_{cs}$  é o módulo de elasticidade secante do concreto (kN/cm<sup>2</sup>);

$h$  é a espessura da laje (cm).

A deformação é obtida através da Equação (6.4), e é calculada através da multiplicação da deformação inicial pelo coeficiente de fluência do concreto, que possui valor aproximado descrito pela NBR 6118.2014.

$$f_{total} = 2,46 \cdot f_i \quad (6.4)$$

Após a obtenção da deformação total, é comparado com o resultado da deformação admissível que, de acordo com a NBR 6118:2014, é dada pela Equação (6.5):

$$f_{adm} = \frac{l}{250} \quad (6.5)$$

Sendo necessário que a deformação total seja menor ou igual a deformação admissível. É importante ressaltar que, para lajes em balanço, o vão equivalente a ser considerado deve ser o dobro do comprimento do balanço. Deslocamentos excessivos podem ser parcialmente compensados por contra flechas, entretanto a sua atuação isolada não pode ocasionar um desvio do plano da laje maior que  $l/250$ .

## 6.6 REAÇÕES DE APOIO E MOMENTOS FLETORES

As reações de apoio podem ser obtidas por várias metodologias, como explanado no Capítulo 5. Neste trabalho foi considerado as tabelas propostas por Bares (1972) e adaptado por Pinheiro (1993). Tais tabelas, baseadas no Processo das Áreas, fornecem coeficientes adimensionais ( $v_x, v'_x, v_y, v'_y$ ), a partir das condições de apoio e do valor de  $\lambda$ , com os quais se calculam as reações, dadas pelas Equações (6.6).



$$\begin{aligned}
 v_x &= v_x p \ell_x / 10 & v'_x &= v'_x p \ell_x / 10 \\
 v_y &= v_y p \ell_x / 10 & v'_y &= v'_y p \ell_x / 10
 \end{aligned}
 \tag{6.6}$$

O cálculo dos momentos fletores por meio das tabelas é semelhante ao apresentado para as reações de apoio. Os coeficientes tabelados ( $\mu_x, \mu'_x, \mu_y, \mu'_y$ ) são adimensionais, sendo os momentos fletores por unidade de largura dados pelas Equações (6.7), onde  $m_x$  e  $m'_x$  são os resultados obtidos na direção do vão  $\ell_x$  e  $m_y$  e  $m'_y$  os resultados na direção do vão  $\ell_y$ .

$$\begin{aligned}
 m_x &= \mu_x p \ell_x^2 / 100 & m'_x &= \mu'_x p \ell_x^2 / 100 \\
 m_y &= \mu_y p \ell_x^2 / 100 & m'_y &= \mu'_y p \ell_x^2 / 100
 \end{aligned}
 \tag{6.7}$$

Obtido os coeficientes, conhecido a carga total uniformemente distribuída  $p$  e o valor do menor vão teórico  $\ell_x$ , é possível encontrar os valores solicitantes que nortearão o dimensionamento das armaduras da laje. Para exemplificação, foram utilizados os coeficientes das tabelas de Bares e Adaptado por Libânio, aplicados no dimensionamento da L8, e estes são apresentados na Tabela 8.

Tabela 8 - Coeficientes da Tabela de Bares (1972) e Pinheiro (1993) para  $\lambda = 1,05$

$l_y/l_x$	$v_x$	$v_y$	$v'_y$	$v'_x$	$\mu_x$	$\mu'_x$	$\mu_y$	$\mu'_y$
1,05	1,92	2,80	4,10	0,00	3,26	0,00	3,64	8,79

Aplicados os coeficientes nas equações, obtiveram-se os seguintes resultados apresentados na Tabela 9 para dimensionamento da L8.

Tabela 9 - Resultados de reações de apoio e momentos fletores na L8

Fatores	Resultados	Unidade
$v_x$	5,21	kN/m
$v_y$	7,60	kN/m
$v'_x$	0,00	kN/m
$v'_y$	11,12	kN/m
$m_x$	3,54	kN.m/m
$m_y$	3,95	kN.m/m
$m'_x$	0,00	kN.m/m
$m'_y$	9,54	kN.m/m

## 6.7 COMPATIBILIZAÇÃO DE MOMENTOS FLETORES

Ao adotar o princípio que uma laje está engastada em outra, admite-se que o momento fletor gerado em uma laje é transmitido através do vínculo, porém isso não acontece de forma unilateral. Como apresentado por Pinheiro (2007), em um mesmo pavimento, as lajes apresentam diferentes condições de apoio, vãos teóricos e carregamentos, o que resulta em valores diferentes de momento negativo no apoio comum, daí surge a necessidade de compatibilizar os momentos negativos entre duas lajes colaborantes entre si.

O critério usual proposto por Libânio (2007), consiste em adotar o maior valor entre a média dos dois momentos e 80% do maior. Esse critério apresenta razoável aproximação quando os dois momentos são da mesma ordem de grandeza. Caso contrário, adota-se o princípio que não mais as duas estão engastadas, mas sim uma engastada e outra apoiada conforme apresentado em 4.2.2.

Portanto, o vínculo da L8 com a L1, conforme Tabela 10, deve ser avaliado e compatibilizado, considerando-se momento negativo gerado no maior vão da L8 e o momento negativo gerado no menor vão da L1. Na Tabela 10 é apresentado os dados obtidos do dimensionamento de ambas as lajes.

*Tabela 10 - Resultados da compensação de momentos entre a L1 e a L8*

ENTRE	$m'_x$	$m'_y$	$X_{MÉDIO}$	$0,80 X_{MÁX}$	$X_{FINAL}$	$X_i/X_j$	Condição
L1- L8	5,12	9,54	7,33	7,63	<b>7,63</b>	1,86	Engaste - Engaste

É possível observar que o momento negativo utilizado para cálculo será 7,63 kN.m/m. A divisão entre os momentos gera um fator de 1,86 que é menor que 2, portanto, o tipo de vínculo adotado é eficaz e caracteriza engastamento real entre ambas as lajes.

## 6.8 DIMENSIONAMENTO DAS ARMADURAS

O dimensionamento das armaduras de lajes maciças é feito da mesma forma que para vigas, admitindo-se uma faixa com um metro de comprimento, sendo assim a armadura encontrada se dá por metro linear de laje.

Para esse dimensionamento podem ser utilizadas tabelas propostas por (Pinheiro, Concreto Armado: Tabelas e Ábacos, 1993), sendo a Tabela 1.1 para cálculo das áreas

necessárias das armaduras e a Tabela 1.4a para a escolha do diâmetro e do espaçamento das barras.

Inicialmente, é necessário conhecer o valor de  $k_c$  calculado pela Equação (6.8)

$$k_c = b_w d^2 / m_k \gamma_f \quad (6.8)$$

Onde:

$b_w = 100$  cm, é o valor adotado para encontrar a armadura por metro linear de laje;

$d$  é a altura útil calculada;

$m_k$  é o momento fletor calculado;

$\gamma_f = 1,4$  coeficiente de ponderação das ações dado pela Tabela 11.1 da NBR 6118:2014.

O valor de  $k_c$ , somado as informações do concreto e aço utilizados, possibilita obter o valor de  $k_s$  e com ele a taxa de armadura  $a_s$  de forma a encontrar o diâmetro das barras e o espaçamento necessário utilizando a Tabela 1.4a anexa. Tais coeficientes são utilizados nas Equações (6.9) e (6.10) para obtenção da armadura.

$$k_s = a_s d / m_k \gamma_f \quad (6.9)$$

$$a_s = k_s m_d / d \quad (6.10)$$

Deve ser observado também se os valores encontrados são maiores que os mínimos propostos pela NBR 6118:2014, o cálculo da taxa mínima de armadura é exibido na Equação (6.11).

$$\rho_{min} = a_s (b_w \cdot d) \quad (6.11)$$

As taxas mínimas de armaduras  $\rho_{min}$  para concreto  $f_{ck} = 25$  MPa é de 0,15%, a partir desse princípio são apresentadas as devidas considerações na Tabela 11.

Tabela 11 - Taxas mínimas de armadura

<b>Armaduras Negativas</b>	$\rho_s \geq \rho_{min}$
<b>Armaduras Positivas de lajes armadas em duas direções</b>	$\rho_s \geq 0,67\rho_{min}$
<b>Armadura positiva (principal) de lajes armadas em uma direção</b>	$\rho_s \geq \rho_{min}$
<b>Armadura positiva (secundária) de lajes armadas em uma direção</b>	$\rho_s \geq 0,5\rho_{min}$ $\rho_s \geq 20\%$ da armadura principal $\rho_s \geq 0,90 \text{ cm}^2/\text{m}$

Fonte: NBR 6118:2014.

Ainda de acordo com a NBR 6118:2014, e apresentado por Pinheiro (2007).

- Qualquer barra da armadura de flexão deve ter diâmetro no máximo igual a  $h/8$ .
- As barras da armadura principal de flexão devem apresentar espaçamento no máximo igual a  $2h$  ou 20 cm, prevalecendo o menor desses dois valores na região dos maiores momentos fletores.
- A armadura secundária de flexão deve corresponder à porcentagem de armadura igual ou superior a 20% da porcentagem da armadura principal, mantendo-se, ainda, um espaçamento entre barras de no máximo 33 cm.

### 6.8.1 Armadura Negativa

Obtida as taxas de armadura, diâmetros e espaçamentos, é necessário o cálculo do comprimento das armaduras com base no diagrama de momento fletor. Para as armaduras negativas que ficam sobre os apoios, onde não há bordo livre, o comprimento das barras pode ser estimado no diagrama trapezoidal adotando-se uma das formas de armação disponíveis, de acordo com Bastos (2015).

Entre as alternativas disponíveis e por ser objetivo deste trabalho, adota-se a concepção alternada de armaduras, com o mesmo comprimento, de forma a obter máxima economia de armadura conciliando com a facilidade de execução. O comprimento das barras é obtido de acordo com a Equação (6.12), e o posicionamento em projeto é de forma a alternar o lado de cada barra em  $1/3$  e  $2/3$  com relação ao centro do apoio de acordo com Araújo (2014).

$$a = 0,40.\ell + 2.(c + \emptyset) \quad (6.12)$$

Onde:

$a$  é o comprimento da barra, utilizando a configuração alternada;

$\ell$  deve ser o maior entre os menores vãos das lajes adjacentes, quando ambas forem consideradas engastadas nesse apoio, ou o menor vão da laje admitida engastada quando a outra for simplesmente apoiada nesse vínculo;

$\emptyset$  o diâmetro da barra utilizado;

$c$  o cobrimento nominal utilizado de acordo com a classe de agressividade.

O comprimento da barra da armadura negativa no vínculo entre a L8 e L1 é:

$$a = 0,40.(385) + 2.(2,5 + 0,8) = 160 \text{ cm}$$

Como exemplo de cálculo, será adotado o vínculo da L8 com a L1. No caso, o momento fletor a ser resistido no apoio é de 7,63 kN.m/m obtido através da compensação.

Geralmente o momento fletor resistido pelos apoios são maiores que os obtidos para o momento positivo, portanto Bastos (2015) propõe que é melhor usar barras de maior diâmetro para armadura negativa, o que facilita a etapa construtiva das barras na face superior da laje.

Na NBR 6118:2014 o espaçamento limite é de 20 cm, o que foi respeitado no dimensionamento das armaduras negativas. Com os valores característicos dos esforços obtidos através da Equações (6.7) e presentes na Tabela 10, de 7,63 kNm/m realizando o mesmo passo-a-passo para as armaduras negativas, obtemos uma área de aço de  $3,51 \text{ cm}^2/\text{m}$ . Adotando-se bitolas de 8 mm temos um espaçamento de 14 cm, o total de barras é obtido dividindo o comprimento do apoio entre as duas lajes pelo espaçamento, que é dado pela Equação (6.13):

$$Q = L/S \quad (6.13)$$

Sendo:

$L$  o comprimento do apoio entre as duas lajes;

$S$  o espaçamento adotado, obtido pelo cálculo da taxa de armadura.

Na Figura 13 é retratado o detalhamento da Laje L8 e sua armadura negativa disposta de forma alternada conforme metodologia de armação apresentada por Fusco (1995).

$$Q = \frac{385}{14} = 28 \text{ barras}$$



resistência até 50 MPa, assim deve-se trabalhar com uma resistência de cálculo obtida pela Equação (6.15):

$$\sigma_{cd} = \alpha_c \cdot f_{cd} \quad (6.15)$$

Calcula-se a resistência final do concreto substituindo os valores na equação acima, obtém-se então:

$$\sigma_{cd} = (0,85) \cdot (17,9) = 1,5215 \text{ kN/cm}^2$$

A resistência de cálculo do aço CA-60 é calculada pela Equação (6.16):

$$f_{yd} = f_{yk} / 1,15 \quad (6.16)$$

Sendo o valor característico  $f_{yk}$  igual a 600 MPa, calcula-se o valor de cálculo da resistência do aço:

$$f_{yd} = 600 / 1,15 = 52,17 \text{ kN/cm}^2$$

Após calculado a resistência dos materiais, é determinado o momento de cálculo na direção  $x$  e  $y$  a partir dos dados presentes na Tabela 9, empregado na Equação (6.17).

$$M_d = 1,4 \cdot M_k \quad (6.17)$$

Através da equação acima obtém-se que os momentos de cálculo na Laje 8 são de 4,95kN/m na direção  $x$  e 5,53 kN/m, respectivamente.

As dimensões da seção retangular para o dimensionamento das lajes são as seguintes:

- Largura  $b = 100 \text{ cm}$ ;

- Altura útil  $d = 7,00 \text{ cm}$ , já que o cobrimento nominal adotado para a classe II de agressividade ambiental é de 2,5 cm e a bitola igual a 0,5 cm, conforme indicado pela norma.

A partir disso obtém-se o valor do momento adimensional,  $k$ , através da Equação (6.18).

$$k = M_d / b \cdot d^2 \cdot \sigma_{cd} \quad (6.18)$$

Calcula-se os valores para as direções  $x$  e  $y$ , respectivamente:

$$k = \frac{(495)}{(100 \cdot 7^2 \cdot 1,5215)} = 0,0664$$

$$k = \frac{(553)}{(100 \cdot 7^2 \cdot 1,5215)} = 0,0741$$

Como os valores obtidos são menores que o limite para concretos com resistência até 35MPa considerando análise linear sem redistribuição de esforços,  $k < k_{lim} = 0,2952$ , para concretos com resistência características até 35 MPa, a solução será obtida com armadura simples, como desejado. O próximo passo é o cálculo da linha neutra dado pela Equação (6.19).

$$\xi = \frac{(1 - \sqrt{1 - 2k})}{\lambda} \quad (6.19)$$

Onde:

-  $k$  é o limite estipulado para concreto até 35 MPa.

-  $\lambda$  é o parâmetro para a simplificação do diagrama parábola-retângulo para tensões do concreto.

Calculado o valor das linhas neutras para as duas direções, obtém-se os seguintes valores:

$$\xi = \frac{(1 - \sqrt{1 - 2 \cdot (0,0664)})}{(0,8)} = 0,08595$$

$$\xi = \frac{(1 - \sqrt{1 - 2 \cdot (0,0741)})}{(0,8)} = 0,09633$$

Após calculado as linhas neutras da laje nas duas direções, é calculado a área de aço nos dois vãos da laje, dada pela Equação (6.20) a seguir.

$$A_S = \lambda * \xi * b * d * \frac{\sigma_{cd}}{f_{yd}} \quad (6.20)$$

Aplicando, os respectivos valores têm-se:

$$A_S = 0,8 * 0,0859 * 100 * 7 * \frac{1,52}{52,17} = 1,40 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$A_S = 0,8 * 0,09633 * 100 * 7 * \frac{1,52}{52,17} = 1,48 \text{ cm}^2/\text{m}$$



Como a taxa de armadura é menor que a mínima para a laje de 10 cm,  $1,50\text{cm}^2/m$ , nas duas direções adota-se o valor mínimo. A solução adotada é com  $\emptyset 5\text{ c}/13$  nas direções  $x$  e  $y$ . No entanto a quantidade e o comprimento das barras variam. Após encontrada a taxa de armadura, é necessário encontrar a quantidade de barras utilizadas nas duas direções, e ela é encontrada pela Equação (6.21), para as direções  $x$  e  $y$ , respectivamente:

$$Q = L/S \quad (6.21)$$

Onde:

$Q$  é a quantidade de barras;

$L$  é o comprimento da laje onde serão distribuídas as armaduras, ou seja, o comprimento perpendicular, ao lado calculado;

$S$  é espaçamento obtido pelo cálculo da taxa de armadura.

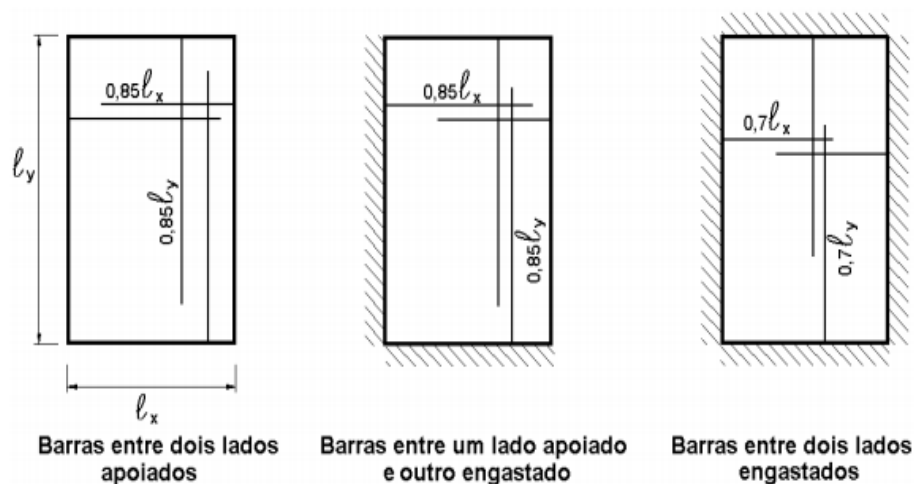
Aplicando os dados da L8 na equação, obtém-se:

$$Q_x = 385/13 = 30 \text{ barras}$$

$$Q_y = 410/13 = 32 \text{ barras}$$

Após calculado a quantidade de barras que serão dispostas na Laje, será calculado o comprimento das barras. Com o objetivo de reduzir o consumo de armadura, adota-se a solução em barras alternadas. Assim, metade das armaduras existentes no centro da laje é prolongada até os apoios. Na Figura 14, Pinheiro (2007) mostra os fatores de redução para as barras

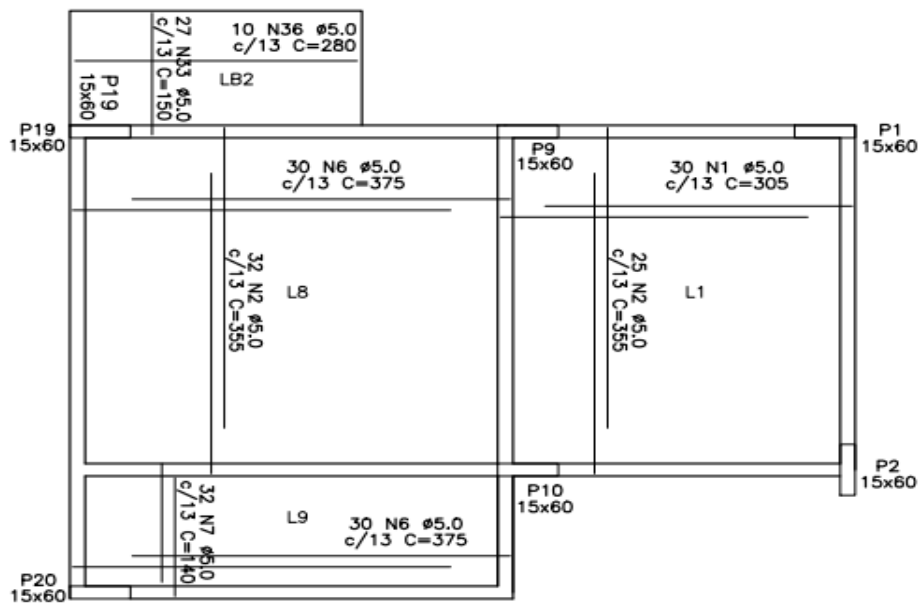
Figura 14 - Comprimento e distribuição das armaduras positivas



Fonte: Pinheiro (2007)

O fator de redução depende da relação entre os lados e também do engastamento entre os lados. Entretanto deve-se destacar que o espaçamento máximo entre os apoios é de 33 cm. Assim, só será possível adotar essa configuração quando o espaçamento das barras não for superior a 16,5 cm. Como a Laje 8 possui um lado apoiado e outro engastado, utiliza-se o fator de redução 15% do comprimento total, conforme recomenda Araújo (2014). As dimensões do maior e do menor vão são, 440 cm e 415 cm, respectivamente. Fazendo a redução de 15% obtemos 374 cm e 353 cm, porém, afim de se utilizar valores usuais adotou-se 375 cm e 355 cm, respectivamente. O detalhamento da Laje 8 foi baseado na metodologia de armação proposta por Fusco (1995) conforme apresentado pela Figura 15.

Figura 15 - Armadura positiva da Laje 8



## 6.9 VERIFICAÇÃO AO CISCALHAMENTO (ELU)

De acordo com a NBR 6118:2014, no tópico 19.4.1, as lajes maciças ou nervuradas podem dispensar armadura transversal para resistir as forças de tração oriundas da força cortante, quando a força cortante de cálculo, a uma distância  $d$ , da face do apoio, obedecer à expressão:

$$V_{sd} \leq V_{Rd1}$$

Sendo  $V_{sd}$  obtido pela Equação (6.22), calculada pela força solicitante multiplicada pelo coeficiente de segurança, como descrito.

$$V_{Sd} = 1,4(V_k) \quad (6.22)$$

Onde o coeficiente de 1,4 é o coeficiente de ponderação das ações proposto pela Tabela 11.1 da NBR 6118:2014 e  $V_k$  a ação característica cortante, obtida pelos cálculos.

Já  $V_{Rd1}$  é apresentado na Equação (6.23):

$$V_{Rd1} = [\tau_{Rd} \cdot k \cdot (1,2 + 40\rho_1) + 0,15 \cdot \sigma_{cp}] \cdot b_w \cdot d \quad (6.23)$$

Onde:

$\tau_{Rd}$  é a tensão resistente de cálculo do concreto ao cisalhamento;

$b_w$  é a largura mínima da seção ao longo da altura útil  $d$ ;

$d$  é a altura útil;

$k$  é um coeficiente que tem os seguintes valores:

- Para elementos onde 50 % da armadura inferior não chega até o apoio:  $k = | 1 |$  ;
- Para os demais casos:  $k = | 1,6 - d |$  , não menor que  $| 1 |$  , com  $d$  em metros;

Além de outros cálculos, como o proposto pela Equações (6.24) e (6.25):

$$\rho_1 = A_{s1} / b_w d \quad (6.24)$$

$$\sigma_{cp} = N_{Sd} / A_c \quad (6.25)$$

Onde  $\rho_1$  não deve ser maior que  $| 0,02 |$ .

A sollicitação de cálculo ( $V_{Sd}$ ) deve ser menor ou igual ao valor de  $V_{Rd1}$  na seção crítica localizada a distância  $d$  (altura útil do elemento a ser verificado) da face interna do apoio.

### 6.9.1 Verificação da Laje 8

Considerando que a maior reação de apoio da laje é 11,12 kN/m, a partir desse dado calcula-se a sollicitação utilizando a Equação (6.22) dada por:

$$V_{Sd} = 1,4 \cdot (11,12) = 15,56 \text{ kN/m}$$

Tem-se que a sollicitação de cálculo é 15,56 kN/m, e a sollicitação resistente de cálculo da Laje 8 foi obtida através da Equação (6.23), conforme será apresentado.

$$V_{Rd1} = [0,0375 \cdot (25)^{2/3} \cdot (1,6 - 0,07) \cdot (1,2 + (\frac{1,50}{100 \cdot 10}))] \cdot (100) \cdot (7,0) = 43,18 \text{ kN/m}$$

Percebe-se que como  $V_{Sd} \leq V_{Rd1}$ , não será necessário adotar armadura de cisalhamento na Laje 8.

## 7 RESULTADOS

### 7.1 RESULTADOS PARCIAIS

Todo o dimensionamento da estrutura foi realizado por meio de planilhas *Excel*. Através delas foram obtidos todos os comprimentos das armaduras de forma contínua e alternada, além dos gastos totais com aço baseados na SINAPI/2019 de todas as lajes do edifício. Pode-se comparar a taxa de redução empregando barras alternadas como concepção estrutural, tanto para momentos positivos quanto para momentos negativos.

Observa-se que nas lajes do Térreo e Subsolo, onde pela concepção arquitetônica e estrutural as lajes possuem as duas dimensões semelhantes e, devido a isso, apresentam armaduras em duas direções, e a maioria das lajes apresentam engastamento em seus vínculos, a taxa de redução de aço variou em torno de 17%, conforme apresentado na Tabela 12.

*Tabela 12 - Comparativo de aço nos pavimentos térreo e subsolo 1*

<b>Pavimento</b>	<b>Quantidade total de aço na concepção alternada (m)</b>	<b>Quantidade total de aço na concepção contínua (m)</b>	<b>Redução</b>
Térreo	7.242,95	8.820,60	17,89%
Subsolo 1	7.384,60	8.924,05	17,25%

Já nos pavimentos tipo, de apartamentos, observa-se uma maior quantidade de lajes apoiadas em seus vínculos, além de algumas lajes com uma de suas dimensões bem maior que a outra, o que favorece a utilização de armaduras principais. Nesse caso a taxa de redução de aço foi um pouco menor, 14,43%, conforme Tabela 13.

*Tabela 13 - Comparativo de aço no pavimento tipo*

<b>Pavimento</b>	<b>Quantidade total de aço na concepção alternada (m)</b>	<b>Quantidade total de aço na concepção contínua (m)</b>	<b>Redução</b>
Tipo	20.505,45	23.966,25	14,44%

Nos pavimentos superiores como: cobertura, lajes do reservatório e elevador, a redução é menor, se comparado aos pavimentos anteriores, devido a esses pavimentos apresentarem muitos bordos livres e a norma não permitir alternamento, como no caso do reservatório e elevador. Mesmo assim, a economia com a concepção alternada de armaduras é observada. Para esses casos é apresentado o resumo de aço na Tabela 14.

*Tabela 14 - Comparativo de aço nos pavimentos superiores*

<b>Pavimento</b>	<b>Quantidade total de aço na concepção alternada (m)</b>	<b>Quantidade total de aço na concepção contínua (m)</b>	<b>Redução</b>
Cobertura	2.946,75	3.435,40	14,22%
Casa de Máquinas e Reservatório Superior	576,70	668,40	13,72%

## 7.2 RESULTADOS TOTAIS

Além dos dados apresentados do comparativo entre a armadura alternada e contínua, lajes em balanço, armaduras de canto e armaduras secundárias também contribuem com a quantidade de aço empregada. Neste caso, a diferença é que essas armaduras não podem ser reduzidas.

Feito o somatório total de aço utilizado nas lajes do edifício, obteve-se os dados apresentados na Tabela 15, a seguir.

*Tabela 15 - Gasto total com aço nas lajes do edifício*

<b>Aço</b>	<b>Diâmetro (mm)</b>	<b>C. Total Alternado (m)</b>	<b>C. Total Contínuo (m)</b>	<b>Peso Total + 10% alternado (kg)</b>	<b>Peso Total + 10% contínuo (kg)</b>
CA60	5	34062,60	39155,90	5775,24	6638,79
CA50	8	6591,40	8362,90	2860,93	3629,83
	10	4800,00	4800,00	3255,32	3255,32

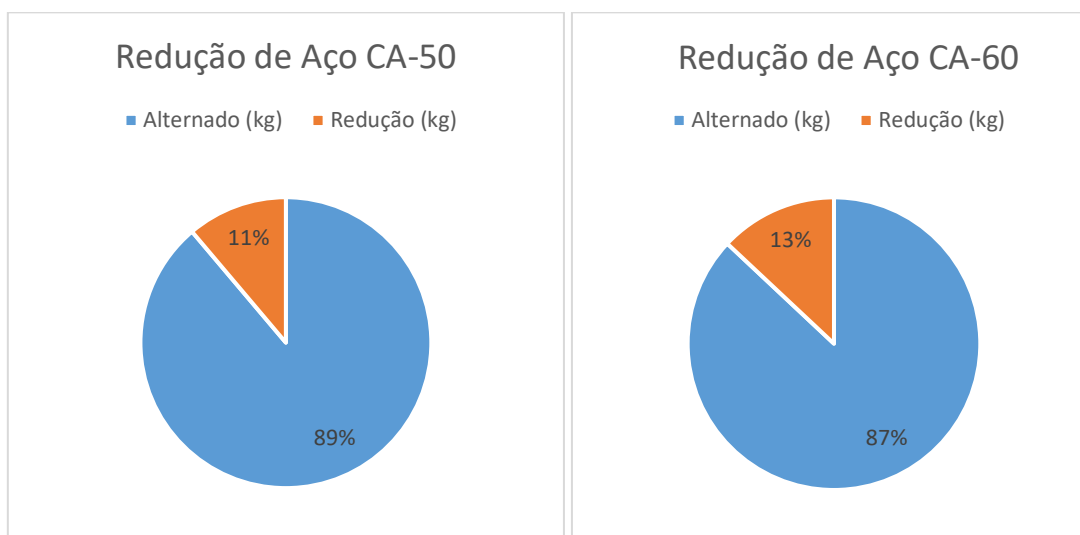
Através desses dados pode-se verificar o percentual de redução de aço utilizado em lajes no edifício conforme Tabela 16.

*Tabela 16 - Redução de aço pela configuração alternada*

<b>Peso Total</b>	<b>Alternado (kg)</b>	<b>Contínuo (kg)</b>	<b>Redução (kg)</b>	<b>Porcentagem (%)</b>
CA60	5775,24	6638,79	863,55	13,01
CA50	6116,24	6885,15	768,91	11,17

O que nos remete ao seguinte Gráfico 1 e resultados:

Gráfico 1 - Redução de aço CA50 e CA60



Redução de 11% em aço CA-50 e de 13% em aço CA-60. Obteve-se, uma redução média de 12% em aço empregado em lajes em todo o edifício. Em termos monetários, o emprego de armadura alternadas em lajes maciças de concreto para o edifício em questão fica em torno de R\$15.000,00 conforme mostrado na Tabela 17, de acordo com a SINAPI de janeiro de 2020.

Tabela 17 - Valor total investido em aço nas configurações contínua e alternada segundo SINAPI 01/2020

AÇO	Diâmetro (mm)	Preço Unitário (kg)	Código SINAPI	Peso Total Alternado (kg)	Peso Total Contínuo (kg)	Preço Total-Configuração Alternada (R\$)	Preço Total-Configuração Contínua (R\$)
CA-60	5	9,84	92768	5775,24	6638,79	56828,36	65325,69
CA-50	8	8,74	92770	2860,93	3629,83	25004,52	31724,71
CA-50	10	8,53	92787	3255,52	3255,32	27769,58	27767,87

É importante ressaltar que o aço CA-60, é comumente utilizado na confecção de barras de 5 mm, e tanto o diâmetro de 5 mm quanto 8 mm foram utilizados nas armaduras principais e secundárias das lajes, já o aço CA-50 de 10 mm foi usado exclusivamente nas lajes em balanço. A economia total gerada é apresentada pelo Gráfico 2 e Gráfico 3

Gráfico 2 - Economia total com aço por diâmetro de barra

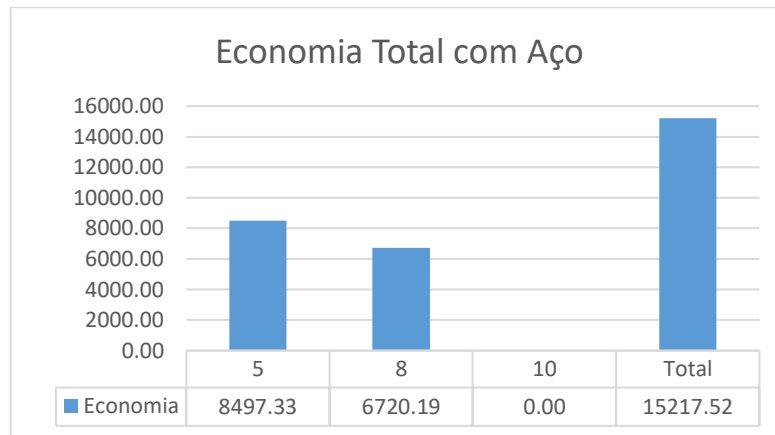
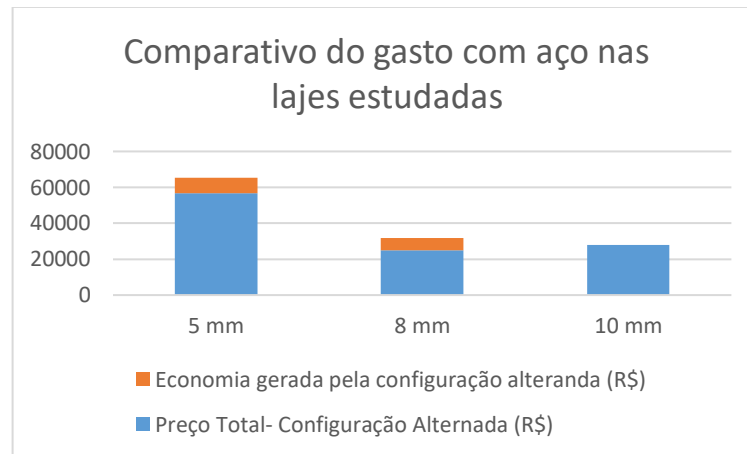


Gráfico 3 - Comparativo de economia nas configurações alternada e contínua



### 7.3 DISCUSSÕES

Como observado pelos resultados obtidos nos pavimentos térreo e subsolo, a adoção de concepções estruturais que permitam um maior número de vínculos de engastamento entre as lajes, possibilitam uma redução de 30% do comprimento das barras, garantindo uma maior economia. Portanto, tal medida quando replicada principalmente no pavimento tipo, que são geralmente utilizadas em edifícios de apartamentos, se faz ainda mais vantajoso.

É interessante dizer que no dimensionamento de todas as lajes do Pavimento Tipo foi utilizada armadura mínima. Isto ocorre quando o momento fletor positivo, ( $m_k$ ), possui valor de até 4,05 kNm/m, o que, considerando uma laje maciça com 10 cm e resistência característica do concreto ( $f_{ck}$ ) de 25 MPa, mostra que a sobrecarga de utilização pouco influencia no dimensionamento em edifícios residenciais, mas deve sempre ser verificada.

A utilização de lajes maciças é recorrente em algumas regiões do país, devido à disponibilidade de concreto, e para esses lugares esse trabalho se faz ainda mais interessante,

uma vez que, conhecidas tais informações, a economia da obra já pode ser buscada desde as primeiras concepções arquitetônicas do empreendimento.

Também é importante analisar que as barras estruturais utilizadas em lajes em balanço e armaduras de canto não podem ser alternadas. Apesar de serem consideradas na quantidade total de aço apresentada, não contribuem com a taxa de redução, uma vez que estão presentes em ambos dimensionamentos. Da mesma forma acontece com as armaduras secundárias, que são responsáveis pela solidarização dos esforços, que também contribuem apenas para o quantitativo total de aço.

## **8 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Neste estudo foi exposto os quantitativos das armaduras e a economia de material gerada, quando utilizada laje maciça de concreto, evidenciando as diferenças quando utilizado o detalhamento das armaduras de forma contínua e alternada. Esse tipo de laje é muito utilizado em edifícios e residências, e têm seu gasto total em aço reduzido quando adotado a configuração alternada, investigada neste trabalho.

Além disso, para edifícios de múltiplos andares, em que existem pavimentos tipo e também a possibilidade de engastamento em todo o bordo das lajes, a alternativa torna-se ainda mais interessante, uma vez que a redução, em torno de 12% de aço, torna-se um valor significativo devido ao grande porte, somente alterando o detalhamento da laje, sem interferência em resistência à flexão das lajes, garantindo a segurança estrutural e suas propriedades de utilização e conforto.

Em valores absolutos essa configuração de detalhamento para residências unifamiliares, sobrados e edifícios de poucos andares, não geram uma economia relevante, mas pode ser empregada caso seja essa a concepção do engenheiro calculista.

Um ponto fundamental para a implantação e conseqüentemente economia, é o correto detalhamento dessa configuração da laje maciça, garantindo assim sua clareza na execução, diminuindo erros construtivos e também a segurança estrutural do empreendimento.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR-6120: Cargas para o Cálculo de Estruturas de Edificações*. Rio de Janeiro, RJ, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR-8522: Concreto- Determinação dos módulos estáticos de elasticidade e de deformação à compressão*. Rio de Janeiro, RJ, 2017.

ARAÚJO, J.M. *Curso de Concreto Armado*. Rio Grande: Editora Dunas, volume 2, 2014.

BASTOS, P.S.S. *Lajes de Concreto*. Bauru, UNESP – Departamento de Engenharia Civil, 2015.

CARVALHO, R.C. *Cálculo e Detalhamento de Estruturas Usais de Concreto Armado*. São Carlos: EdUFSCar, 2014.

FUSCO, P.B. *Técnicas de Armar as Estruturas de Concreto*. São Paulo: PINI, 1995.

PINHEIRO, L. M. *Concreto armado: tabelas e ábacos*. São Carlos, Escola de Engenharia de São Carlos - USP, Departamento de Engenharia de Estruturas, 1993.

PINHEIRO, L. M. *Estudo das lajes*. Ilha Solteira, São Paulo, 2007.

SALIBA, S.S. *Implementação Computacional e Análise Crítica de Elementos Finitos de Placa.2007.217 f. Dissertação - Curso de Pós Graduação em Engenharia de Estruturas, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte*.

SANTOS, Roberto Eustaáquio dos. *A cultura do concreto armado no Brasil: educação e deseducação dos produtores do espaço construído*. In: Anais do IV Congresso Brasileiro de História da Educação. Goiânia: Universidade Católica de Goiânia, 2006.

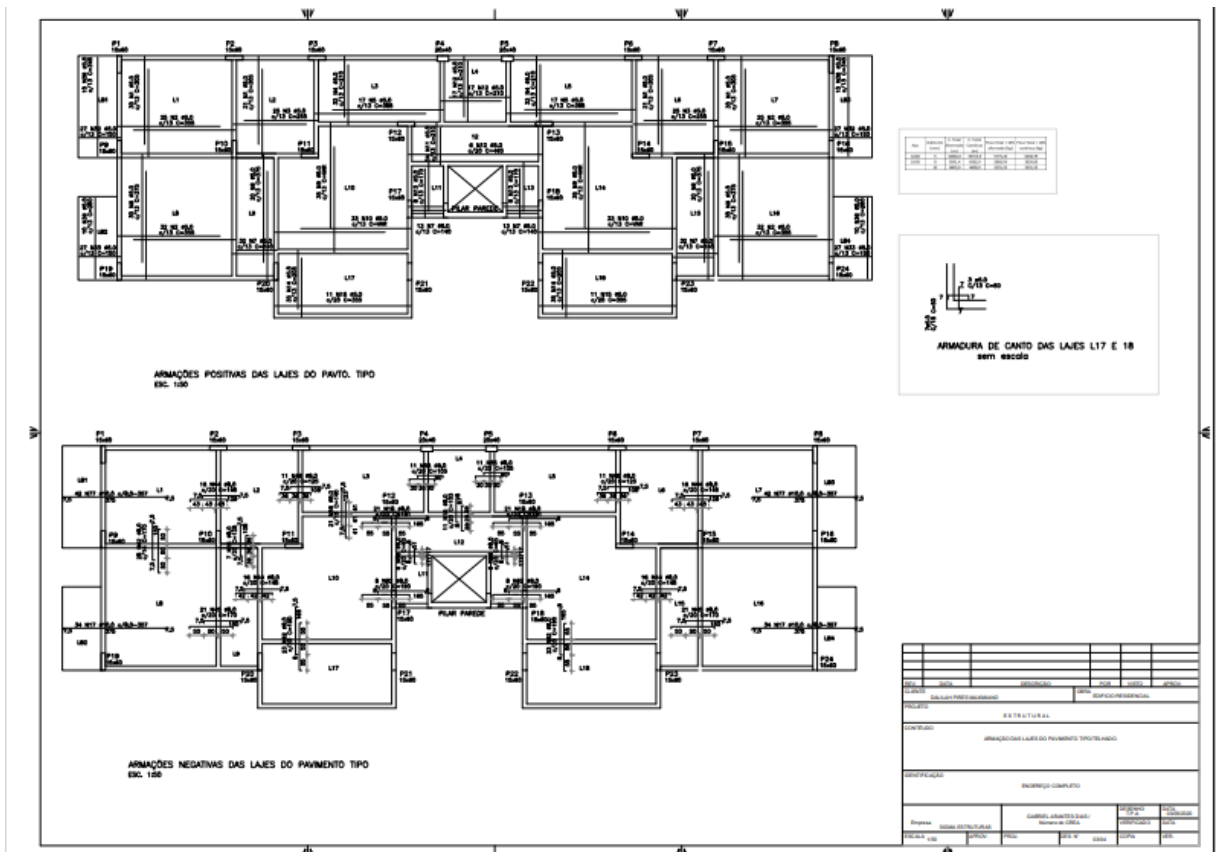
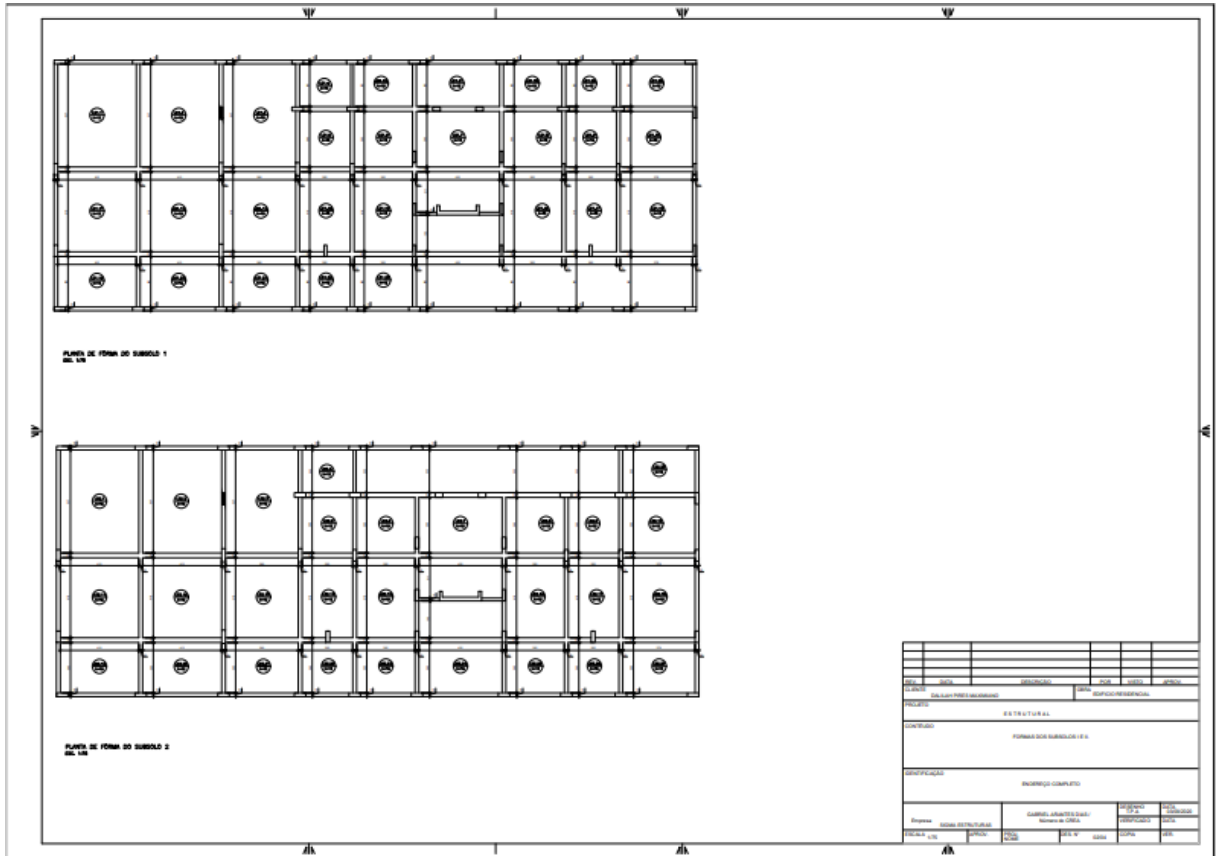
ANEXO A – TABELA 1.4A

Tabela 1.4a							
ÁREA DA SEÇÃO DE BARRAS POR METRO DE LARGURA $a_s$ (cm <sup>2</sup> /m)							
s (cm)	DIÂMETRO NOMINAL (mm)						s (cm)
	5,0	6,3	8,0	10,0	12,5	16,0	
5,0	3,92	6,24	10,06	15,70	24,54	40,22	5,0
5,5	3,56	5,67	9,15	14,27	22,31	36,56	5,5
6,0	3,27	5,20	8,38	13,08	20,45	33,52	6,0
6,5	3,02	4,80	7,74	12,08	18,88	30,94	6,5
7,0	2,80	4,46	7,19	11,21	17,53	28,73	7,0
7,5	2,61	4,16	6,71	10,47	16,36	26,81	7,5
8,0	2,45	3,90	6,29	9,81	15,34	25,14	8,0
8,5	2,31	3,67	5,92	9,24	14,44	23,66	8,5
9,0	2,18	3,47	5,59	8,72	13,63	22,34	9,0
9,5	2,06	3,28	5,29	8,26	12,92	21,17	9,5
10,0	1,96	3,12	5,03	7,85	12,27	20,11	10,0
11,0	1,78	2,84	4,57	7,14	11,15	18,28	11,0
12,0	1,63	2,60	4,19	6,54	10,23	16,76	12,0
12,5	1,57	2,50	4,02	6,28	9,82	16,09	12,5
13,0	1,51	2,40	3,87	6,04	9,44	15,47	13,0
14,0	1,40	2,23	3,59	5,61	8,76	14,36	14,0
15,0	1,31	2,08	3,35	5,23	8,18	13,41	15,0
16,0	1,23	1,95	3,14	4,91	7,67	12,57	16,0
17,0	1,15	1,84	2,96	4,62	7,22	11,83	17,0
17,5	1,12	1,78	2,87	4,49	7,01	11,49	17,5
18,0	1,09	1,73	2,79	4,36	6,82	11,17	18,0
19,0	1,03	1,64	2,65	4,13	6,46	10,58	19,0
20,0	0,98	1,56	2,52	3,93	6,14	10,06	20,0
22,0	0,89	1,42	2,29	3,57	5,58	9,14	22,0
24,0	0,82	1,30	2,10	3,27	5,11	8,38	24,0
25,0	0,78	1,25	2,01	3,14	4,91	8,04	25,0
26,0	0,75	1,20	1,93	3,02	4,72	7,73	26,0
28,0	0,70	1,11	1,80	2,80	4,38	7,18	28,0
30,0	0,65	1,04	1,68	2,62	4,09	6,70	30,0
33,0	0,59	0,95	1,52	2,38	3,72	6,09	33,0

Elaborada por Alessandro L. Nascimento e Libânio M. Pinheiro.

De acordo com a NBR 7480:1996.

# ANEXO B – PRANCHAS SUBSOLOS E PAVIMENTO TIPO



# ANEXO C – PRANCHA SUBSOLOS, RESERVATÓRIO E COBERTURA

