



CENTRO UNIVERSITÁRIO DE SUL DE MINAS – UNIS/MG

**ESTUDO COMPARATIVO DE UM PAVIMENTO COMERCIAL
UTILIZANDO LAJES: NERVURADA PRÉ-MOLDADA, NERVURADA
MOLDADA IN LOCO E MACIÇA EM CONCRETO ARMADO**

Gladson Lima Caetano

Varginha/MG
2014



CENTRO UNIVERSITÁRIO DE SUL DE MINAS – UNIS/MG

N. CLASS.	MG24-18341
CUTTER	C.1282
ANO/EDIÇÃO	2014

**ESTUDO COMPARATIVO DE UM PAVIMENTO COMERCIAL
UTILIZANDO LAJES: NERVURADA PRÉ-MOLDADA, NERVURADA
MOLDADA IN LOCO E MACIÇA EM CONCRETO ARMADO**

Gladson Lima Caetano

Monografia apresentada ao Centro Universitário do Sul de Minas (UNIS/MG), como requisito para obtenção de graduação em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. M.Sc. Antônio de Faria

Varginha/MG
2014

FEPESMIG



CENTRO UNIVERSITÁRIO DE SUL DE MINAS – UNIS/MG

**ESTUDO COMPARATIVO DE UM PAVIMENTO COMERCIAL
UTILIZANDO LAJES: NERVURADA PRÉ-MOLDADA, NERVURADA
MOLDADA IN LOCO E MACIÇA EM CONCRETO ARMADO**

Gladson Lima Caetano

Trabalho de conclusão de curso aprovado como requisito parcial para obtenção do grau em Engenharia Civil no Centro Universitário do Sul de Minas pela banca examinadora:

Prof. M. Sc. Antônio de Faria
Orientador

Prof. Leopoldo Freire Bueno
Engenheiro Civil

Prof. Armando Belato Pereira
Engenheiro Civil

Varginha/MG
2014.

Grupo Educacional UNIS

CERTIFICADO

Certificamos que o trabalho de conclusão de curso intitulado “Estudo comparativo de um pavimento comercial utilizando lajes: Nervurada pré-moldada, Nervurada moldada in loco e Maciça em concreto armado”, solicitado pelo aluno do curso de Engenharia Civil, Gladson Lima Caetano, foi **aprovado** pela banca examinadora, em reunião administrativa realizada em Julho de 2014.

Varginha, Julho de 2014.

Prof. Ms. Ivana Prado de Vasconcellos – UNIS/MG
Coordenadora do curso de Engenharia Civil

DEDICATÓRIA

Dedico este a minha mãe, Ionete da Silva Lima, que foi a principal responsável pela minha formação pessoal e acadêmica. Jamais poderia esquecer-se da minha grande família, minhas irmãs Thaís Lima Caetano e Vitória Luísa Lima Silva e ao meu Padrasto José Antonio da Silva. Todos eles são minha inspiração de cada dia.

AGRADECIMENTO

Agradeço a todos os professores que contribuíram e fizeram parte da minha educação acadêmica e pessoal, em especial ao meu orientador Antônio de Faria.

Agradeço a instituição Fundação de Ensino e Pesquisa do Sul de Minas pela oportunidade dada e conhecimento passado durante o período de construção da 1ª etapa da Cidade Universitária e a todos aqueles que estiveram ao meu lado nestes cinco anos.

RESUMO

Este trabalho visa comparar três sistemas estruturais de lajes, sendo o de laje nervura pré-moldada, laje nervurada moldada in loco e a laje maciça em concreto armado. Dessa forma. Apresenta, por consequência, uma breve análise econômica, comparando-se os quantitativos de cada sistema apresentado. O trabalho em questão traz os conceitos básicos do tema, características, aplicações e recomendações da NBR6118/2003 para cada sistema adotado e critérios de projeto. É apresentado o lançamento, análise da estrutura e os quantitativos de materiais para os sistemas escolhidos. Para isso adotou-se um pavimento comercial, com um total de seis lajes.

Palavras-chave: Lajes maciças e lajes nervuradas.

ABSTRACT

To compare three structural systems slabs, with the pre molded ribbed slab, the ribbed slab molded in situ and solid slab of reinforced concrete. Thus, presents, therefore, a brief economic analysis, comparing the quantitative data for each system presented. The work in question brings the basics of the theme, features, applications and recommendations for each system adopted NBR6118/2003 and design criteria. The launch structure analysis and quantitative material selected for the systems is presented. To do so we adopted a commercial floor, with a total of five slabs.

Keywords: Solid slabs and waffle slabs.

LISTA DE TABELAS

Tabela 01 – Valores para cálculo de armadura longitudinal de seções retangulares.....	20
Tabela 02 - Dados preliminares – lajes maciças.....	23
Tabela 03 - Dados/Carregamentos das lajes.....	25
Tabela 04 - Coeficiente α para cálculo de flechas elásticas em lajes retangulares submetidas a carregamento uniformemente distribuído.....	25
Tabela 05 - Verificação das flechas das lajes.....	26
Tabela 06 - Coeficientes μ_x , μ_y , μ'_x e μ'_y para o cálculo dos momentos máximos em lajes retangulares uniformemente carregadas (Casos 1, 2 e 3).....	27
Tabela 07 - Coeficientes μ_x , μ_y , μ'_x e μ'_y para o cálculo dos momentos máximos em lajes retangulares uniformemente carregadas (Casos 4, 5 e 6).....	28
Tabela 08 - Coeficientes μ_x , μ_y , μ'_x e μ'_y para o cálculo dos momentos máximos em lajes retangulares uniformemente carregadas (Casos 7, 8 e 9).....	28
Tabela 09 - Cálculo das armaduras das lajes.....	29
Tabela 10 - Cálculo dos espaçamentos de acordo com A_s efetivo.....	29
Tabela 11 - Telas soldadas Nervuradas Belgo.....	30
Tabela 12 - Relação de telas Soldadas Ca 60.....	31
Tabela 13 - Relação dos painéis telas Soldadas.....	32
Tabela 14 - Dados técnicos da forma adotada.....	33
Tabela 15 - Cálculo da Flecha – L1, L3, L4 e L6.....	35
Tabela 16 - Cálculo da armadura – L1, L3, L4 e L6.....	35
Tabela 17 - Coeficientes K_x , K_y , K'_x e K'_y para o cálculo das reações nas vigas de apoio de lajes retangulares uniformemente carregadas (Casos 1, 2 e 3).....	36
Tabela 18 - Coeficientes K_x , K_y , K'_x e K'_y para o cálculo das reações nas vigas de apoio de lajes retangulares uniformemente carregadas (Casos 4, 5 e 6).....	37
Tabela 19 - Coeficientes K_x , K_y , K'_x e K'_y para o cálculo das reações nas vigas de apoio de lajes retangulares uniformemente carregadas (Casos 7, 8 e 9).....	38

Tabela 20 - Cálculo das reações de apoio.....	38
Tabela 21 - Dados das Lajes 1, 3, 4 e 6 – Direção Horizontal.....	39
Tabela 22 - Verificação L1, L3, L4 e L6 – Armadura transversal – Direção horizontal.....	39
Tabela 23 - Dados das Lajes 1, 3, 4 e 6 – Direção Vertical.....	40
Tabela 24 - Verificação L1, L3, L4 e L6 – Armadura transversal – Direção horizontal.....	40
Tabela 25 - Cálculo da Flecha – L2 e L5.....	41
Tabela 26 - Cálculo da armadura – L2 e L5.....	42
Tabela 27 - Dados das Lajes 2, e 5 – Direção Horizontal.....	42
Tabela 28 - Verificação L2 e L5 – Armadura transversal – Direção horizontal.....	43
Tabela 29 - Dados das Lajes 2, e 5 – Direção Vertical.....	43
Tabela 30 - Verificação L2 e L5– Armadura transversal – Direção Vertical.....	43
Tabela 31 - Dados das lajotas cerâmicas e cálculo do peso da laje.....	46
Tabela 32 - Dimensões da vigota.....	46
Tabela 33 - Especificação das treliças armadas.....	47
Tabela 34 - Dados iniciais para dimensionamento das lajes.....	47
Tabela 35 - Cálculo das armaduras inferiores das lajes.....	48
Tabela 36 - Cálculo das armaduras superiores das lajes.....	48
Tabela 37 - Características das lajes.....	50
Tabela 38 - Quantitativo de materiais das lajes.....	51
Tabela 39 - Comparativo entre lajes.....	52
Tabela 40 - Lajes pavimento-tipo residencial.....	53
Tabela 41 - Lajes pavimento comercial.....	53
Tabela 42 - Consumo de material – Lajes: Pavimento-tipo: Residencial.....	54
Tabela 43 - Consumo de material – Lajes: Pavimento: Comercial.....	54
Tabela 44 - Comparativo - Indicadores.....	55

LISTA DE FIGURAS

Figura 01 – Laje nervurada dupla.....	07
Figura 02 - Laje nervurada invertida.....	07
Figura 03 - Laje nervurada normal (direta).....	08
Figura 04 - Formas de polipropileno.....	08
Figura 05 - Escoramento da laje nervurada.....	09
Figura 06 - Laje nervurada pré-moldada.....	10
Figura 07 - Concretagem: Laje maciça.....	11
Figura 08 - Concreto Usinado.....	12
Figura 09 - Vergalhão de aço para construção civil.....	13
Figura 10 - Forma plástica para laje nervurada.....	14
Figura 11 - Forma Plastificada.....	15
Figura 12 - Escoras metálicas.....	15
Figura 13 - Planta de forma das lajes.....	19
Figura 14 - Vão efetivo.....	21
Figura 15 - Vinculação das lajes maciças do projeto.....	23
Figura 16 - Situações de vinculação das placas isoladas.....	24
Figura 17 - Detalhamento das armaduras inferiores das lajes maciças do projeto.....	31
Figura 18 - Detalhamento armaduras superiores das lajes maciças do projeto.....	32
Figura 19 - Detalhamento: Lajes Nervuradas Moldada “in loco”.....	44
Figura 20 - Detalhamento: Laje 02 Nervurada Moldada “in loco”.....	45
Figura 21 - Lajota cerâmica.....	46
Figura 22 - Detalhamento das lajes nervuradas pré-moldadas do projeto.....	49
Figura 23 - Detalhamento das treliças das lajes nervuradas pré-moldadas do projeto.....	50

Figura 24 - Comparativo de consumo de concreto (m³) em cada Sistema Estrutural..... 51

Figura 25 - Comparativo de consumo de aço (Kg) em cada Sistema Estrutural..... 52

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	01
2. OBJETIVO	02
2.1. OBJETIVO GERAL.....	02
2.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	02
3. METODOLOGIA	03
4. DIAGNÓSTICO	04
5. INDICADORES DE COMPARATIVO	05
6. TIPOLOGIA DA LAJES	06
6.1. LAJES NERVURADAS MOLDADAS “IN LOCO”.....	06
6.2. LAJES NERVURADAS PRÉ-MOLDADAS.....	10
6.3. LAJES MACIÇAS.....	11
7. MATERIAIS UTILIZADOS NA LAJES	12
7.1. CONCRETO.....	12
7.2. AÇO.....	12
7.3. ADITIVOS.....	13
7.4. OUTROS MATERIAIS.....	14
7.5. FORMAS.....	14
7.6. ESCORAMENTOS.....	15
8. MATERIAIS UTILIZADOS NAS LAJES	16
9. VANTAGENS E DESVANTAGENS	18
10. DIMENSIONAMENTO DAS LAJES	19
10.1. VINCULAÇÃO DAS LAJES.....	20
10.2. VÃOS EFETIVOS DAS LAJES NERVURADAS.....	21
10.3. PRÉ-DIMENSIONAMENTO.....	21
10.4. DIMENSIONAMENTO: LAJE MACIÇA.....	23
10.5. DETALHAMENTO: LAJE MACIÇA.....	31
10.6. DIMENSIONAMENTO: LAJE NERVURADA MOLDADA “IN LOCO”.....	33
10.7. DETALHAMENTO: LAJE NERVURADA MOLDADA “IN LOCO”.....	44
10.8. DIMENSIONAMENTO: LAJE NERVURADA PRÉ-MOLDADA.....	46
10.9. DETALHAMENTO: LAJE NERVURADA PRÉ-MOLDADA.....	49
11. COMPARATIVO E QUANTITATIVO DE MATERIAIS DAS LAJES DO PROJETO	51

12. COMPARATIVO DOS INDICDORES.....	53
13. CONCLUSÕES.....	56
14. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	57

1. INTRODUÇÃO

Apesar das diversas tecnologias desenvolvidas para o cálculo estrutural e processos executivos, prevalece no mercado brasileiro de edifícios residenciais e comerciais, por motivos culturais, estruturas em sua totalidade formadas por vigas e lajes.

Na maioria dos casos este sistema funciona bem devido à larga utilização no mercado que conseqüentemente gera uma maior disponibilidade de mão de obra treinada.

Em casos de construções que necessitam de vãos de cerca de 10 a 12 m, uma atual opção para vencer vãos grandes, extremamente carregados e que necessitem de redução do número de pilares, como o caso de pilotis e pavimentos de garagem no caso de edifícios residenciais, e em edifícios comerciais a necessidade de pavimentos com possibilidades de divisórias flexíveis, são as chamadas lajes nervuradas. Segundo a NBR 6118:2014, lajes nervuradas são: "Lajes moldadas no local ou com nervuras pré-moldadas, cuja zona de tração é constituída por nervuras entre as quais pode ser colocado material inerte".

Visando a atual necessidade do mercado da construção civil em adquirir novas técnicas que agilizem a construção, sem que com isso eleve significativamente o custo da obra, possibilitando facilidades na execução da obra e atendimento das flexibilidades pessoais de cada cliente, surgiu a ideia de estudar sistemas estruturais diferentes e seus respectivos resultados.

Cabe ao engenheiro no seu dia-a-dia adaptar as situações solicitadas aos resultados aqui propostos.

Entre os principais objetivos destacam-se fornecer valores de indicadores dos sistemas estruturais em estudo e indicar verificações importantes a serem feitas na análise destes sistemas.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GERAL

Desenvolver um estudo comparativo de um pavimento comercial utilizando três tipos de lajes, sendo elas: laje nervurada pré-moldada, laje nervurada moldada in loco e laje maciça em concreto armado.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) Indicadores das lajes;
- b) Tipologia de cada laje;
- c) Materiais utilizados em cada laje;
- d) Comparativo final das lajes.

3. METODOLOGIA

O trabalho foi dividido em duas etapas, sendo estas: TCC 01 – realizado durante o 9º (nono) período do curso de engenharia civil; e TCC 02 – realizado durante o 10º (décimo) período. O Trabalho teve seu ponto de partida a pesquisa em internet e livros de detalhamento e dimensionamento estrutural de estruturas de concreto, normas técnicas da ABNT e consultas a um profissional da área.

Após obtenção e análise dos resultados, serão montados textos, gráficos e desenhos que evidenciem o tema proposto, bem como as tipologias de cada laje, os materiais utilizados, a elaboração de um projeto arquitetônico de um pavimento comercial, dimensionamento e detalhamento de cada laje, as vantagens e desvantagens de cada sistema estrutural e apresentar e comparar indicadores de consumo. Será utilizado para elaboração deste trabalho os softwares da Microsoft Office (Word, Excel) e um software da AutoDesk (AutoCAD).

Na composição do trabalho foi colocado em prática conhecimentos adquirido no decorrer do curso, principalmente da disciplina de estruturas.

4. DIAGNÓSTICO

A laje é um material que faz parte da estrutura da obra e por essa razão é preciso que ofereça segurança total para ser usada. A Norma Técnica NBR 6118:2003 estabelece diversos itens de segurança, entre os quais, os principais são:

- Traço do concreto;
- Recobrimento da ferragem;
- Cálculo estrutural das ferragens para o tipo de uso específico da laje;
- Carga acidental;
- Carga permanente.

Os itens acima mencionados não podem ser conferidos visualmente, por essa razão é preciso que a execução e materiais utilizados sejam os especificados no projeto Estrutural, obedecendo todas as indicações técnicas estabelecidas em Norma.

São de extrema importância que as lajes sejam montadas conforme o projeto e com o acompanhamento de um profissional da área de estruturas, pois os detalhamentos do projeto devem ser rigorosamente obedecidos.

Uma laje mal especificada, produzida e fornecida em desacordo para o seu uso correto, produz ao longo do tempo vários problemas, tais como:

- Exposição da ferragem da laje, numa segunda fase;
- Deformação do concreto da laje, com apresentação de flecha (embarrigada);
- Trincas nas paredes;
- Risco de desabamento, etc.

A parte estrutural de uma edificação é a mais importante, por esta razão deve-se fazer o que o projeto estrutural especifica, desde os tipos de materiais (aço, concreto, entre outros), até a contratação da mão de obra, pois os sistemas estruturais devem ser executados conforme os projetos. Assim garantindo a segurança da estrutura.

A escolha da melhor laje para uma residência ou comércio deve ser feita pelo engenheiro civil (calculista da obra). A importância em escolher a laje mais adequada para cada construção está diretamente relacionada à estética desejada, qualidade da obra, à resistência, à durabilidade da sua estrutura, à economia de materiais.

5. INDICADORES DE COMPARATIVO

Neste trabalho foi feito o comparativo dos três tipos de sistemas estruturais das lajes, que consiste em:

- Materiais utilizados para execução de cada laje;
- Métodos construtivos de cada laje;
- Dimensionamento de cada laje;
- Quantitativo dos materiais de cada laje;
- Índice de consumo entre aço e área construída;
- Índice de consumo entre concreto e área construída;
- Índice de consumo entre aço e concreto;
- Apresentação das vantagens e desvantagens de cada laje.

6. TIPOLOGIA DAS LAJES

De acordo com Libâno M. Pinheiro, Cassiane D. Muzardo, Sandro P. Santos da USP – EESC – Departamento de Engenharia de Estruturas em 26 de Maio de 2003, as lajes são elementos estruturais laminares planos, solicitados predominantemente por cargas normais ao seu plano médio. Nas estruturas laminares planas, predominam duas dimensões, comprimento e largura, sobre a terceira que é a espessura. Geralmente, nas estruturas correntes, as lajes são retangulares, mas podem ter forma trapezoidal ou em L.

6.1. LAJES NERVURADAS MOLDADAS “IN LOCO”

De acordo com o Engenheiro Civil Marcos Alberto Ferreira da Silva denominam-se lajes nervuradas moldadas in loco, aquelas executadas na própria obra, com as nervuras e mesas fundidas no local onde permanecerão por toda vida útil da edificação. As lajes nervuradas moldadas no local de concreto armado podem ser classificadas de diversas maneiras, sendo mais comuns as que se referem à posição das nervuras na laje, na seção transversal e em planta.

De acordo com a posição das nervuras na seção transversal da laje e com a quantidade de mesas que utilizam, podem-se dividir estas lajes em três tipos: a dupla, a invertida e a normal (direta).

Na laje nervurada do tipo dupla as nervuras ficam situadas entre duas mesas de concreto, uma inferior e a outra do superior (figura 01). Nos espaços entre as nervuras podem ser colocados materiais de enchimento, servindo simultaneamente de fôrma para as nervuras e para a mesa superior, ou então estes espaços podem permanecer vazios, sendo necessário nesse caso utilizar fôrmas, as quais serão perdidas.

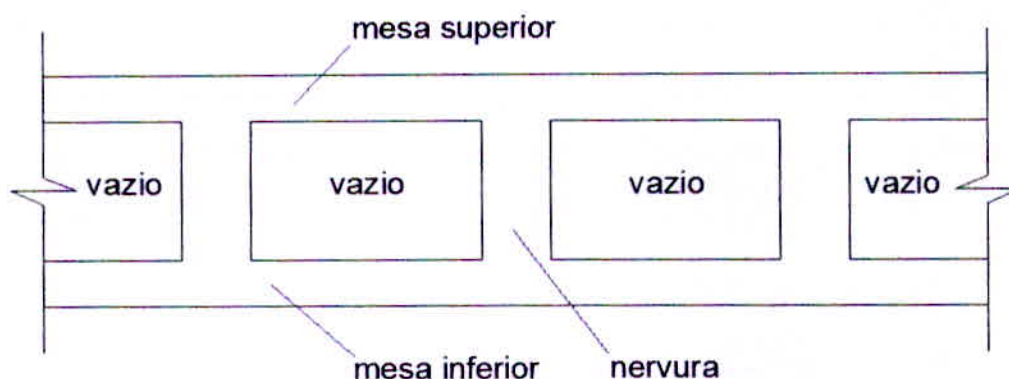


Figura 01 – Laje nervurada dupla

Na laje nervurada do tipo invertida as nervuras são superiores, existindo uma mesa inferior de concreto (figura 02). Neste tipo de laje os espaços entre as nervuras normalmente permanecem vazios, com as nervuras aparentes, exigindo, portanto a presença de fôrma para moldar tanto a mesa como as nervuras. A utilização deste tipo de laje é restrita para casos de lajes em balanços, em que os momentos fletores são negativos.

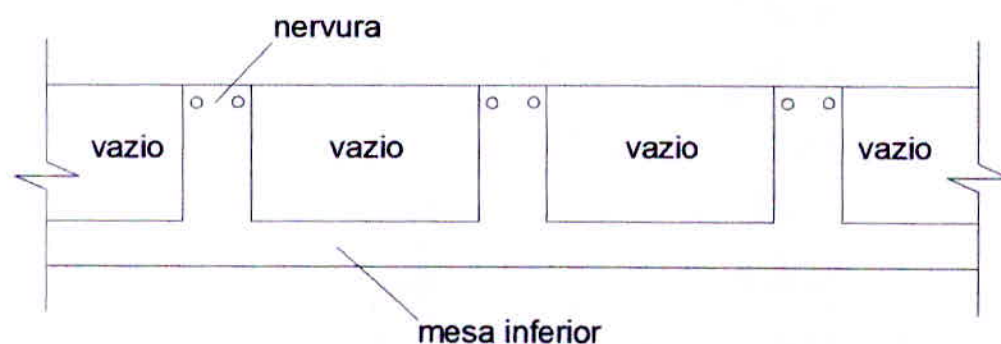


Figura 02 – Laje nervurada invertida

A laje do tipo normal (direta) é aquela em que as nervuras são inferiores, possuindo uma mesa superior de concreto (figura 03). Neste tipo de laje os espaços entre as nervuras podem ser ocupadas por algum material de enchimento sem função estrutural e que irá permanecer no local, servindo de fôrma para a mesa e para as faces laterais das nervuras, ou podem permanecer vazios, exigindo-se nesse caso a utilização de fôrmas de madeira, de polipropileno ou de qualquer outro material.

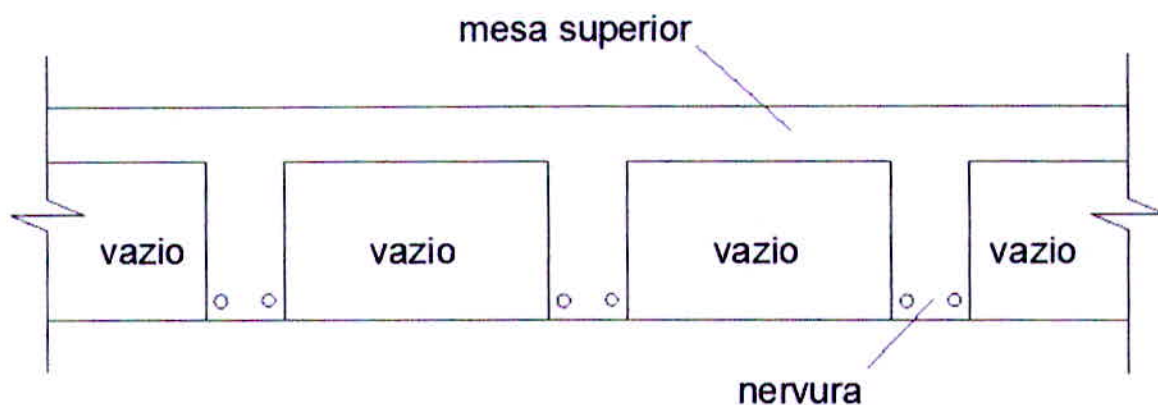


Figura 03 – Laje nervurada normal (direta)

Portanto:

- As lajes nervuradas moldadas "in loco" são aquelas executadas em toda sua totalidade na obra, na posição definitiva.
- É necessário o uso de fôrmas ou material de enchimento e de escoramentos.
- Podem-se utilizar fôrmas para substituir os materiais inertes.
- As fôrmas podem ser em polipropileno ou em metal, com dimensões moduladas, sendo necessário utilizar desmoldantes iguais aos empregados nas lajes maciças.
- Existem várias classificações para este tipo de lajes, tanto quanto a forma como quanto aos materiais empregados.



Figura 04 - Formas de polipropileno.

Fonte: <http://www.aecweb.com.br>

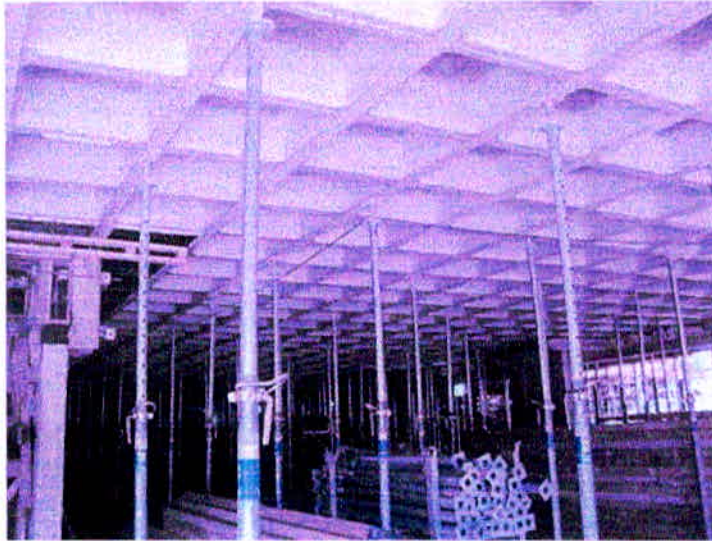


Figura 05 - Escoramento da laje nervurada.

Fonte: <http://www.aecweb.com.br>

De acordo com a posição em planta das nervuras, por sua vez, as lajes nervuradas moldadas no local de concreto armado são divididas em dois tipos: as armadas em uma direção (lajes nervuradas unidirecionais), e as armadas em duas direções (lajes nervuradas bidirecionais).

Nas lajes nervuradas armadas em uma direção as nervuras normalmente são dispostas na direção do menor vão teórico, e admite-se que apresentem comportamento estrutural de vigas simplesmente apoiadas, dependendo das dimensões deste vão, utiliza-se nervuras transversais (nervuras na direção do maior vão teórico) com a função de travamento das nervuras principais. Quando existem ações concentradas ou parcialmente distribuídas (pesos de paredes, por exemplo) nessas lajes, com a função de distribuí-las entre as nervuras principais, também se utiliza nervuras transversais.

As lajes nervuradas armadas em uma direção devem ser usadas quando a relação entre a dimensão do maior e do menor vão teórico da laje é superior a dois. As lajes nervuradas armadas em duas direções, por sua vez, devem ser usadas quando a relação entre a dimensão do maior e do menor vão teórico da laje não é superior a dois. Com isso há uma diminuição dos esforços solicitantes, deformações transversais e uma distribuição das ações em todas as quatro vigas ou paredes de contorno.

6.2. LAJES NERVURADAS PRÉ-MOLDADAS

Segundo a NBR 14859-1 de 2002 (Laje pré-fabricada – Requisitos – Parte 1: Lajes unidirecionais), laje pré-fabricada unidirecional é a laje nervurada constituída por nervuras (NL) dispostas em uma única direção. Podem ser empregadas algumas nervuras transversais (NT) perpendiculares às nervuras principais.

- As nervuras são compostas de vigotas pré-moldadas.
- Dispensam o uso do tabuleiro da fôrma tradicional.
- Não necessitam de fôrma, junto à face inferior.
- As vigotas são capazes de suportar seu peso próprio e as ações de construção, necessitando apenas de cimbramentos intermediários.
- Essas lajes são constituídas de:
 - Vigotas pré-moldadas, que são transportadas e posicionadas sobre as fôrmas das vigas e os apoios intermediários (cimbramentos).
 - Elementos de enchimento, que são colocados sobre os elementos pré-moldados, onde os mesmos não permitem que o concreto percorra pelas regiões de contato entre as nervuras pré-fabricadas e os elementos de enchimento.
 - Concreto, que é transportado, lançado e realizado o adensamento ou vibração do mesmo sobre as vigotas pré-moldadas e os elementos de enchimento.



Figura 06 - Laje nervurada pré-moldada.

Fonte: <http://betim.olx.com.br>

6.3. LAJES MACIÇAS

De acordo com Libâno M. Pinheiro, Cassiane D. Muzardo, Sandro P. Santos da USP – EESC – Departamento de Engenharia de Estruturas em 26 de Maio de 2003, Lajes maciças são elementos planos, em geral horizontais, com duas dimensões muito maiores que a terceira, sendo esta denominada espessura.

As lajes maciças são totalmente executadas no local da obra, demandando assim, uma estrutura de madeira (bandeja, fôrma) para que sirva de base para a ferragem e o concreto.



Figura 07 - Concretagem: Laje maciça.

Fonte: <http://www.ufrgs.br>

7. MATERIAIS UTILIZADOS NAS LAJES

7.1. CONCRETO

O concreto é um material resultante da adição do cimento, no caso material ligante, com materiais inertes como o agregado graúdo e miúdo, além da água a qual promove as reações químicas no cimento, com eventual emprego de aditivos. Os agregados resumem-se basicamente a pedra britada número 1 (9,5 mm a 19 mm) e número 2 (19 mm a 38 mm), o agregado miúdo é composto pela areia. A água a ser adicionada aos agregados secos deve ser livre de impurezas. Pode ser moldado no local ou usinado. Concreto usinado é o concreto fabricado em uma empresa prestadora de serviços de concretagem, este tipo de concreto também é conhecido como CDC - Concreto Dosado em Central.



Figura 08 - Concreto Usinado.

Fonte: <http://www.concretousinado.com.br>

7.2. AÇO

O aço empregado deve ser aquele destinado exclusivamente ao concreto armado, recebendo sua denominação em função da resistência de escoamento f_y em KN/mm^2 . Assim os aços mais utilizados comercialmente são: CA 50 e CA 60, encontradas em

barras de 12 metros de comprimento, sendo padronizados os seguintes diâmetros em milímetros: 5; 6,3; 8; 10; 12,5; 16; 20; 25 e 32.

Os aços ainda são divididos em duas classes conforme o processo de fabricação empregado. Os aços classe A tem nas suas ligas de ferro com carbono adicionado outros elementos (manganês, silício, alumínio, enxofre, fósforo, e cromo), após a laminação a quente, o resfriamento ao ar livre. Enquanto que nos aços classe B não se utilizam ligas especiais e após a laminação à quente as barras são encruadas a frio (torção, tração, trefilação, entre outros). A figura 6 ilustra o aço destinado às estruturas de concreto armado.



Figura 09 - Vergalhão de aço para construção civil

Fonte: <http://www.artefatos-aco-concreto.com.br>

O aço também é empregado como uma armadura complementar (armadura de distribuição), posicionada na capa de concreto no sentido transversal e longitudinal, para a distribuição das tensões oriundas de cargas concentradas e para o controle da fissuração.

Hoje em dia utilizam-se muito as telas soldadas, pois garante os espaçamentos dos fios conforme projeto, elimina o arame de amarração, racionaliza a construção proporcionando uma economia na mão de obra.

7.3. ADITIVOS

Os aditivos são produtos químicos, não indispensáveis à composição e à finalidade do concreto. Este tem por objetivo apresentar ou melhorar certas características; entre as várias aplicações dos aditivos pode-se destacar o acelerador de pega, os plastificantes e os superfluidificantes. Na utilização dos aditivos devem-se

observar cuidadosamente as quantidades, as quais são geralmente pequenas, homogeneizar a mistura, verificar a validade do produto, e certificar-se que a composição química do mesmo não danificará nenhum material constituinte do concreto armado, como por exemplo, as armaduras. Os cuidados a serem tomados devem ser prescritos pelo fabricante do produto na própria embalagem. O uso indiscriminado dos aditivos, sem controle e em desacordo com as recomendações do fabricante prejudica a qualidade do concreto, e conseqüentemente da estrutura a qual este será incorporado.

7.4. OUTROS MATERIAIS

Podem-se entender como outros materiais envolvidos na execução das lajes, que não fazem parte do produto final, como as fôrmas e escoramentos. As fôrmas quando necessário tem por finalidade dar a moldagem desejada a laje enquanto o concreto ainda está fresco, os escoramentos dão sustentação à laje até que o concreto tenha resistência suficiente para absorver os esforços solicitantes provenientes de seu peso próprio e ações em função da continuidade e uso da obra.

7.5. FORMAS

As Formas plásticas são utilizadas nas lajes nervuradas moldadas IN LOCO, são reaproveitadas várias vezes.

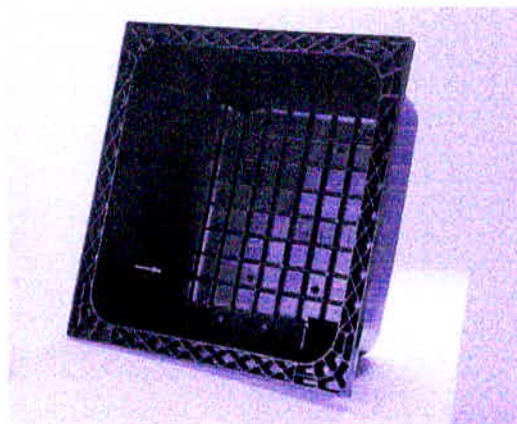


Figura 10 - Forma plástica para laje nervurada.

Fonte: <http://www.rotomixbrasil.com.br>

A Forma Plástica é um produto muito utilizado na construção civil, para fazer formas e no caso de construção de prédios e casas padronizadas são reaproveitadas

várias vezes trazendo uma grande economia no custo da obra. São utilizadas nas lajes maciças.

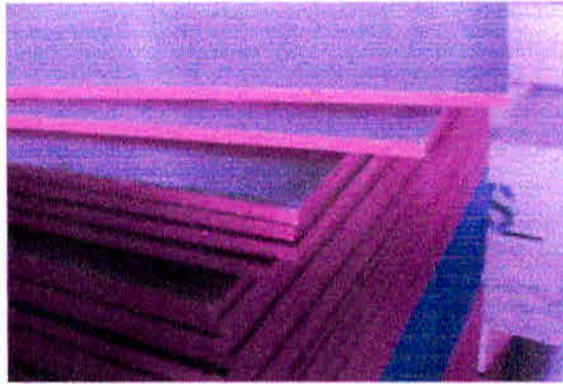


Figura 11 - Forma Plastificada.

Fonte: <http://www.madecaus.com.br>

7.6. ESCORAMENTOS

Hoje em dia é muito utilizado as escoras metálicas, além de agilizar a concretagem das lajes, sendo mais rápidas para a montagem do que o sistema de escoramento em madeiras é reutilizável por muitos anos. Além disso, há mais segurança, pois, cada escora metálica realmente suporta o peso informado, evitando acidentes, atrasos e garantindo a qualidade da obra.

As escoras metálicas recebem as cargas durante todo o processo de execução da estrutura, portanto são as responsáveis, em última instância, pela estabilidade do sistema utilizado no momento da confecção das lajes, daí a importância de sempre se utilizar uma escora de qualidade.

A maior parte dos acidentes na confecção das estruturas acontece quando o construtor supera a carga de ruptura das escoras metálicas, portanto, é muito importante respeitar os limites da capacidade de carga das escoras metálicas.



Figura 12 - Escoras metálicas.

Fonte: <http://www.proobra.com.br>

8. MATERIAIS UTILIZADOS NAS LAJES

LAJES NERVURADAS MOLDADAS "IN LOCO"

Os materiais empregados na execução das lajes nervuradas moldadas "in loco" são basicamente os constituintes do concreto armado:

Fôrmas: podem ser em polipropileno ou em metal, com dimensões moduladas, sendo necessário utilizar desmoldantes.

Escoramentos: podem ser de madeiras ou metálicos;

Concreto (item 7.1.): Em função das dimensões das seções transversais das lajes nervuradas, usualmente utiliza-se pedra britada número 1;

Aço (item 7.2.): na armadura de distribuição, a tela soldada tem fundamental importância na capa de compressão, controlando as fissuras e evitando o aparecimento de trincas. Conforme a NBR 6118:2003, a armadura mínima da capa de compressão em aço CA 60 é de $0,6\text{cm}^2/\text{m}$ que corresponde à tela Q91.

Aditivo (item 7.3.): Nas lajes nervuradas é recomendada a utilização de aditivos que melhorem a plasticidade do concreto, tendo em vista as dimensões reduzidas das seções transversais (largura), o que dificulta o adensamento do concreto.

LAJES NERVURADAS PRÉ-MOLDADAS

Os materiais empregados na execução das lajes nervuradas pré-moldadas são:

Vigotas pré-moldadas: podem ser de concreto armado, concreto protendido ou vigota treliçada;

Elementos de enchimento: podem ser de material cerâmico, isopor, papelão, concreto celular, etc;

Escoramentos: podem ser de madeiras ou metálicos;

Concreto (item 7.1.);

Aço (item 7.2.).

LAJES MACIÇAS

Os materiais empregados na execução das lajes maciças são:

Fôrmas: são geralmente confeccionados em madeiras, sendo necessário utilizar desmoldantes;

Escoramentos: podem ser de madeiras ou metálicos;

Concreto (item 7.1.);

Aço (item 7.2.): as telas soldadas são usadas como armadura inferior (positiva) e superior (negativa).

8. VANTAGENS E DESVANTAGENS

Cada laje tem suas características, logo cada uma terá suas vantagens e desvantagens de acordo com o projeto. Analisando os três tipos de lajes desse projeto, podemos citar em geral algumas das vantagens e desvantagens de cada tipo de laje:

Laje Nervurada Moldada “in-loco”:

- **Vantagens:** a principal vantagem em utilizar este tipo de laje está na redução do peso da estrutura para grandes vãos, conseqüentemente, redução no volume de concreto.
- **Desvantagens:** é de alto custo para pequenos vãos. A sua execução deve ser cuidadosa, pois caso haja ausência de aderência na capa de concreto pode acontecer o aparecimento de trincas, além disto, a concretagem é de difícil execução e o trabalho de armação é delicado e demorado requerendo mão-de-obra intensiva acarretando baixa produtividade.

Laje Nervurada Pré-moldada com lajotas cerâmicas:

- **Vantagens:** rapidez na montagem, facilidade de canos e conduítes e é o sistema mais barato para lajes finas que cubram pequenos vãos.
- **Desvantagens:** são frágeis, pois as lajotas podem quebrar no transporte, na colocação e na concretagem.

Laje Maciça:

- **Vantagens:** menos suscetível a fissuras (depois de seco, o concreto torna-se um monobloco que dilata e contrai de maneira uniforme), e podem ser em balanços.
- **Desvantagens:** gasto maior de madeira para a base e escoramento, é mais pesada e, em geral tem um maior custo.

9. DIMENSIONAMENTO DAS LAJES

Serão apresentados os 03 tipos de dimensionamento de lajes adotando o mesmo projeto arquitetônico (pavimento comercial) e a mesma resistência de concreto, que será de 25 MPa, para o estudo e comparação. Este projeto possui 06 lajes, onde as mesmas serão utilizadas como galeria de loja.

PROJETO – PAVIMENTO COMERCIAL

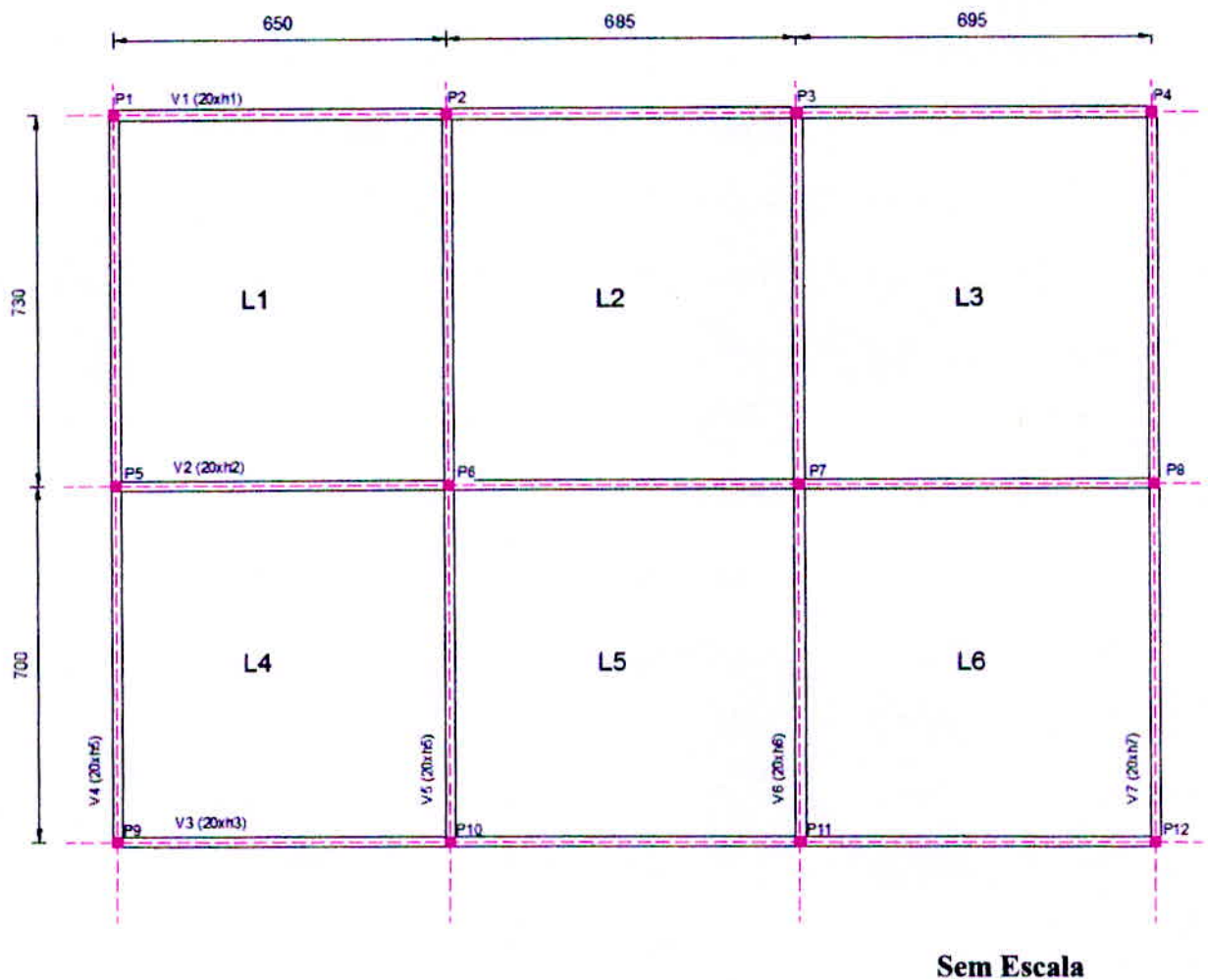


Figura 13 – Planta de forma das lajes.

Cálculo da distribuição do peso total da laje:

Revestimento: Argamassa ($e = 1,0$ cm) + piso industrializado = $0,7$ KN/m²

Sobrecarga: $3,0$ KN/m² (Galerias de lojas - NBR-6120)

Para o dimensionamento das lajes nervuradas, será utilizada a tabela 01 para cálculo de armadura longitudinal. Segundo Roberto Chust Carvalho, na tabela 01, foi dado valores a KMD e calculados os demais, mantendo os limites de validade para KX.

Tabela 01: Valores para cálculo de armadura longitudinal de seções retangulares.

KMD	KX	KZ	ϵ_c	ϵ_s	KMD	KX	KZ	ϵ_c	ϵ_s
0,0100	0,0148	0,9941	0,1502	10,000	0,2050	0,3506	0,8597	3,5000	6,4814
0,0200	0,0298	0,9881	0,3068	10,000	0,2100	0,3609	0,8556	3,5000	6,1971
0,0300	0,0449	0,9820	0,4704	10,000	0,2150	0,3714	0,8515	3,5000	5,9255
0,0400	0,0603	0,9759	0,6414	10,000	0,2200	0,3819	0,8473	3,5000	5,6658
0,0500	0,0758	0,9697	0,8205	10,000	0,2250	0,3925	0,8430	3,5000	5,4170
0,0550	0,0836	0,9665	0,9133	10,000	0,2300	0,4033	0,8387	3,5000	5,1785
0,0600	0,0916	0,9634	1,0083	10,000	0,2350	0,4143	0,8343	3,5000	4,9496
0,0650	0,0995	0,9602	1,1056	10,000	0,2400	0,4253	0,8299	3,5000	4,7297
0,0700	0,1076	0,9570	1,2054	10,000	0,2450	0,4365	0,8254	3,5000	4,5181
0,0750	0,1156	0,9537	1,3077	10,000	0,2500	0,4479	0,8208	3,5000	4,3144
0,0800	0,1238	0,9505	1,4126	10,000	0,2550	0,4594	0,8162	3,5000	4,1181
0,0850	0,1320	0,9472	1,5203	10,000	0,2600	0,4711	0,8115	3,5000	3,9287
0,0900	0,1403	0,9439	1,6308	10,000	0,2650	0,483	0,8068	3,5000	3,7459
0,0950	0,1485	0,9406	1,7440	10,000	0,2700	0,4951	0,802	3,5000	3,5691
0,1000	0,1569	0,9372	1,8611	10,000	0,2750	0,5074	0,7970	3,5000	3,3981
0,1050	0,1654	0,9339	1,9810	10,000	0,2800	0,5199	0,7921	3,5000	3,2324
0,1100	0,1739	0,9305	2,1044	10,000	0,2850	0,5326	0,7870	3,5000	3,0719
0,1150	0,1824	0,9270	2,2314	10,000	0,2900	0,5455	0,7818	3,5000	2,9162
0,1200	0,1911	0,9236	2,3621	10,000	0,2950	0,5586	0,7765	3,5000	2,7649
0,1250	0,1998	0,9201	2,4967	10,000	0,3000	0,5721	0,7712	3,5000	2,6179
0,1300	0,2086	0,9166	2,6355	10,000	0,3050	0,5858	0,7657	3,5000	2,4748
0,1350	0,2175	0,9130	2,7786	10,000	0,3100	0,5998	0,7601	3,5000	2,3355
0,1400	0,2264	0,9094	2,9263	10,000	0,3150	0,6141	0,7544	3,5000	2,1997
0,1450	0,2354	0,9058	3,0787	10,000	0,3200	0,6287	0,7485	3,5000	2,0672
0,1500	0,2445	0,9022	3,2463	10,000	0,3300	0,659	0,7364	3,5000	1,8100
0,1550	0,2536	0,8985	3,3391	10,000	0,3400	0,6910	0,7236	3,5000	1,5652
0,1600	0,2630	0,8948	3,5000	9,8104	0,3500	0,7249	0,7100	3,5000	1,3283
0,1650	0,2723	0,8911	3,5000	9,3531	0,3600	0,7612	0,6955	3,5000	1,0983
0,1700	0,2818	0,8873	3,5000	8,9222	0,3700	0,8003	0,6799	3,5000	0,8732
0,1750	0,2913	0,8835	3,5000	8,5154	0,3800	0,8433	0,6627	3,5000	0,6506
0,1800	0,3009	0,8796	3,5000	8,3106					
0,1850	0,3106	0,8757	3,5000	7,7662					
0,1900	0,3205	0,8718	3,5000	7,4204					
0,1950	0,3305	0,8678	3,5000	7,0919					
0,2000	0,3405	0,8638	3,5000	6,7793					

Fonte: CARVALHO, R. C.; FILHO, J. R. F. (2012, p.132)

10.1. VINCULAÇÃO DAS LAJES

As lajes nervuradas, bem como as lajes maciças. Podem ter suas bordas apoiadas, contínuas e engastadas ou em balanço. Entretanto, recomenda-se para as lajes nervuradas de concreto armado evitar engastes e balanços, pois nestes casos, têm-se tração na face superior, onde se encontra a mesa de concreto, e forças de compressão na

parte inferior, região em que a área de concreto é reduzida. Sabe-se que o concreto é um material que apresenta elevada resistência à compressão e baixa resistência à tração.

Neste projeto as lajes nervuradas terão suas bordas apoiadas, conforme figura 15.

10.2. VÃOS EFETIVOS DAS LAJES NERVURADAS

A Norma Brasileira ABNT NBR 6118:2003 indica que, se forem seguidas as recomendações dos limites para dimensionamentos e aberturas de fissuras, das lajes nervuradas, podem ser considerados para lajes nervuradas os mesmos critérios indicados para lajes maciças, que por suas vezes são os mesmos adotados para vigas.

A ABNT NBR 6118:2014 indica que, quando os apoios puderem ser considerados suficientemente rígidos quanto à translação vertical, o vão efetivo deve ser calculado pela seguinte expressão: $L_{ef} = l_0 + a_1 + a_2$

Os valores de a_1 e a_2 em cada extremidade do vão podem ser determinados pelos valores apropriados de a_i , indicado na figura 14, sendo:

a_1 igual ao menor valor entre $t_1/2$ e $0,3 \cdot h$ e

a_2 igual ao menor valor entre $t_2/2$ e $0,3 \cdot h$.

Neste trabalho, foi considerado o vão efetivo a distância entre os centros dos apoios (vigas) que têm, no projeto, largura medindo 20 cm.

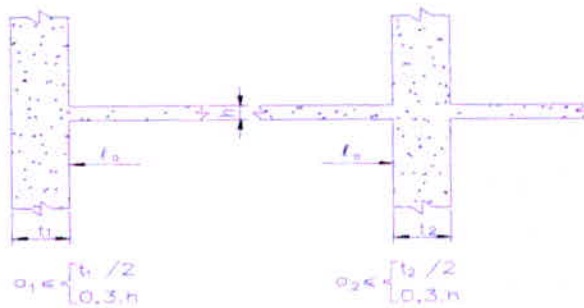


Figura 14 – Vão efetivo.
Fonte: ABNT NBR 6118:2003.

10.3. PRÉ-DIMENSIONAMENTO

A determinação das dimensões das lajes nervuradas será feita seguindo as recomendações das dimensões mínimas exigidas em normas.

RECOMENDAÇÕES DA NORMA BRASILEIRA ABNT NBR 6118:2003

A Norma Brasileira, com relação às lajes nervuradas, estabelece que:

- a- a espessura da mesa, quando não houver tubulações horizontais embutidas, precisa ser maior ou igual a $1/15$ da distância entre nervuras e não menor que 3 cm; o valor mínimo absoluto deve ser 4 cm quando existirem tubulações embutidas de diâmetro máximo 12,5 mm;
- b- a espessura das nervuras não pode ser inferior a 5 cm; nervuras com espessura menor que 8 cm não devem conter armadura de compressão (caso de armadura dupla).

Para o projeto das lajes nervuradas, isto é determinação dos esforços solicitantes e verificação da segurança estrutural, precisam ser obedecidas as seguintes condições:

- c- para lajes com espaçamento entre eixos de nervuras menor ou igual a 65 cm, pode ser dispensada a verificação da flexão da mesa, e para a verificação do cisalhamento da região das nervuras, permite-se a consideração dos critérios de laje;
- d- para lajes com espaçamento entre eixos de nervuras entre 65 cm e 110 cm, exige-se a verificação da flexão da mesa e as nervuras devem ser verificadas ao cisalhamento como vigas; permite-se essa verificação como lajes se o espaçamento entre eixos de nervuras for menor que 90 cm e a espessura média das nervuras forem maiores que 12 cm;
- e- para lajes nervuradas com espaçamento entre eixos de nervuras maiores que 110 cm, a mesa deve ser projetada como laje maciça, apoiada na grelha de vigas, respeitando-se os seus limites mínimos de espessura.

A Norma Brasileira ABNT NBR 6118:2003 não faz nenhuma recomendação com relação à estimativa da altura em função dos vãos efetivos das lajes nervuradas, porém indica as condições que precisam ser atendidas com relação aos deslocamentos (flechas), dependentes das deformações da seção transversal.

O procedimento do projeto será no sentido de adotar uma altura e verificar as condições relativas aos estados limites último e de serviço.

10.4. DIMENSIONAMENTO: LAJE MACIÇA

Nas lajes maciças será utilizado:

- concreto: $F_{ck} = 25 \text{ MPa}$;
- aço = CA 50 / CA 60

Tabela 02: Dados preliminares – lajes maciças

Dados preliminares:

		Revestimento Piso		Revestimento Forro	
Fck (MPa)	25	Espessura Argamassa (cm)	1,00	Espessura Revestimento (cm)	1,0
γ_{concreto} (kN/m ³)	25	$\gamma_{\text{argamassa}}$ (kN/m ³)	21,0	$\gamma_{\text{argamassa}}$ (kN/m ³)	19,0
d' (cm)	4,0	Espessura Revestimento (cm)	1,00		
		$\gamma_{\text{revestimento}}$ (kN/m ³)	28,0		

Fonte: Prof. M. Sc. Antônio de Faria.

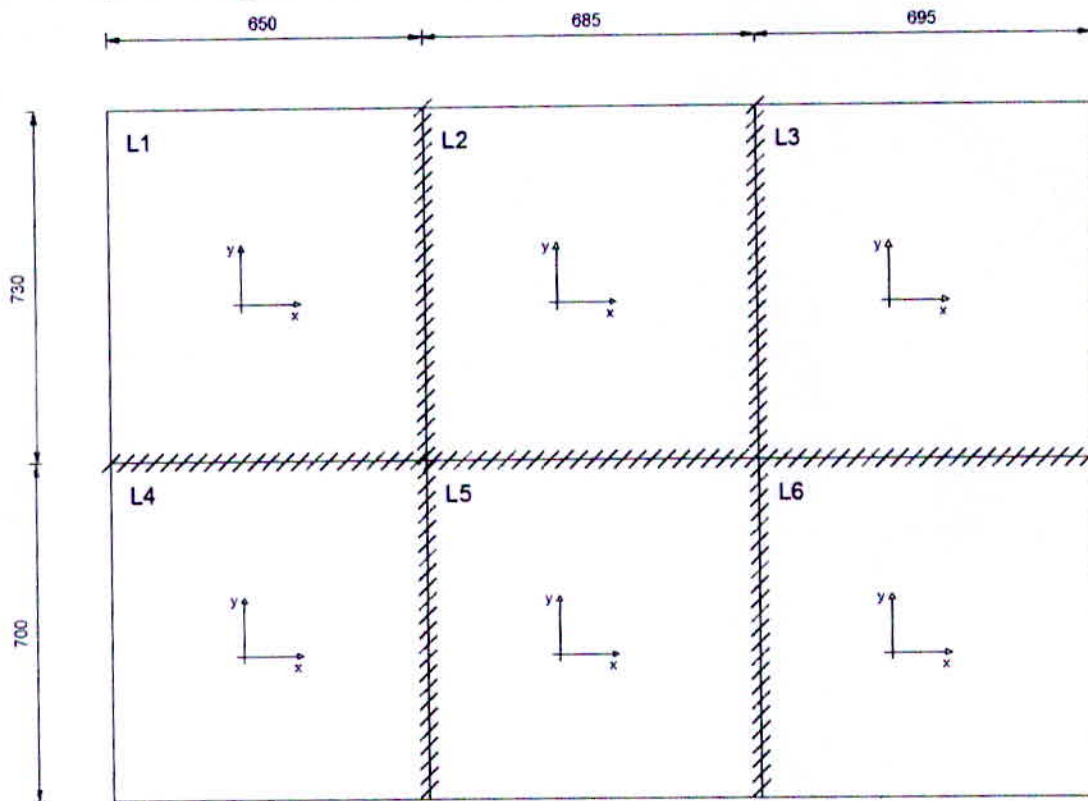
Vinculação das Lajes maciças do projeto em estudo:

Figura 15 – Vinculação das lajes maciças do projeto.

Para definirmos as vinculações das lajes (Tipo laje), utilizou-se a figura 16 (vinculação das placas isoladas), onde o contorno representado por linha simples indica borda simplesmente apoiada, e o contorno representado por hachura indica borda engastada.

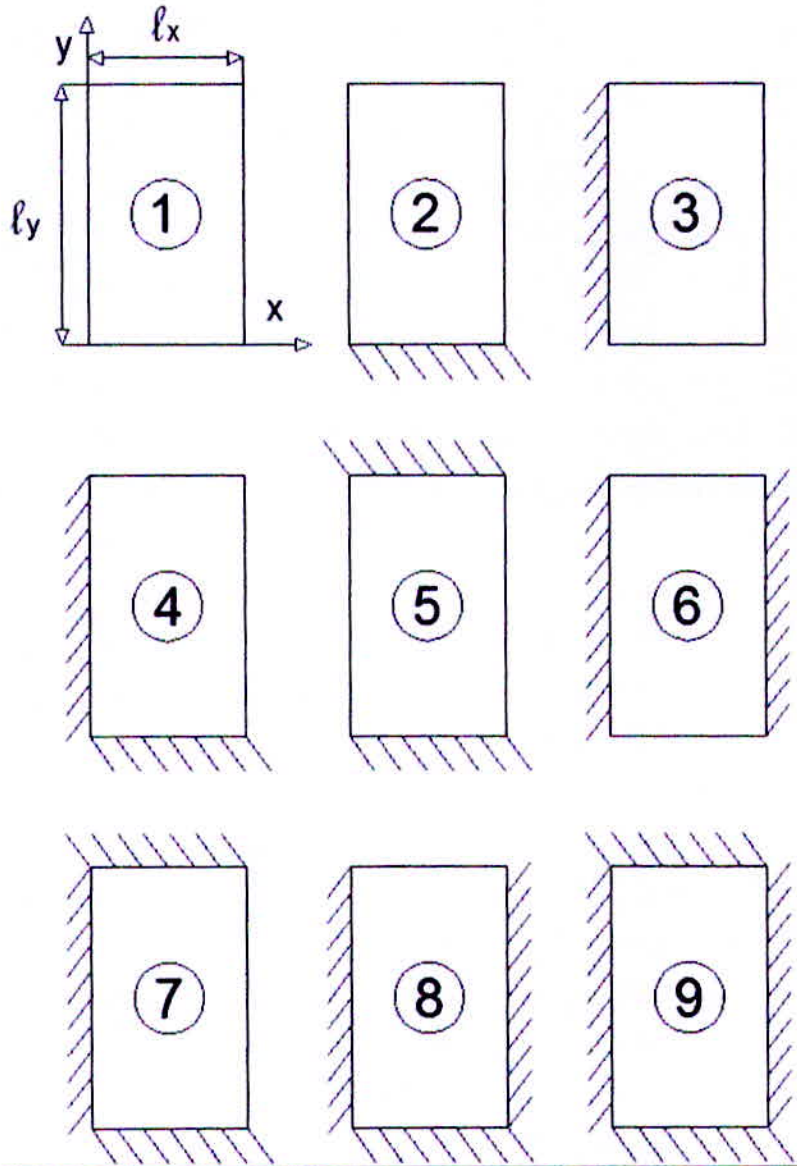


Figura 16 – Situações de vinculação das placas isoladas.
 Fonte: CARVALHO, R. C.; FILHO, J. R. F. (2012, p.302).

Logo, as lajes do projeto são dos tipos 4 e 8:

Laje 1 (L1): Tipo 4.

Laje 2 (L2): Tipo 8.

Laje 3 (L3): Tipo 4.

Laje 4 (L4): Tipo 4.

Laje 5 (L5): Tipo 8.

Laje 6 (L6): Tipo 4.

Na tabela 03 estão os carregamentos de cada laje, o carregamento total (KN/m²) e o tipo de cada laje.

Para o cálculo do carregamento **Total (KN/m²)**: Σ Peso próprio, Revestimento e Sobrecarga.

Tabela 03: Dados/Carregamentos das lajes.

Localização	h _{dotado} (cm)	P.Próprio (kN/m ²)	Revest. (kN/m ²)	Outros (kN/m ²)	Sobrecarga (kN/m ²) NBR 6120	Total (kN/m ²)	Tipo Laje
Laje - L1	16	4,00	0,7		3,00	7,680	4
Laje - L2	16	4,00	0,7		3,00	7,680	8
Laje - L3	16	4,00	0,7		3,00	7,680	4
Laje - L4	16	4,00	0,7		3,00	7,680	4
Laje - L5	16	4,00	0,7		3,00	7,680	8
Laje - L6	16	4,00	0,7		3,00	7,680	4

Fonte: Prof. M. Sc. Antônio de Faria.

Para definir o coeficiente α da tabela 05, utilizou-se a tabela 04, onde o coeficiente α é definido pelo λ (L_y / L_x) e o tipo de vinculação da laje conforme figura 16.

Tabela 04: Coeficiente 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, R. C.; FILHO, J. R. F. (2012, p.303)

A tabela 05 apresenta o cálculo e verificação das flechas. A flecha (deslocamento transversal máximo de uma barra reta ou placa) para lajes com carregamento uniforme e com as condições de contorno de acordo com a figura 16 é calculada por meio da equação abaixo e pelos coeficientes da tabela 04. A flecha encontrada é elástica, ou seja, não são considerados os efeitos de fissuração e fluência.

$$\text{Flecha (cm) centro laje} = a = (P \cdot \text{Total} / 100) \cdot (L_x \cdot 100)^4 \cdot \alpha / (0,85 \cdot 5600 \cdot \sqrt{F_{ck}} / 10 / H_{\text{adotado}}^3 / 100)$$

Em que:

P – carregamento uniformemente distribuído sobre a laje;

α – coeficiente retirado da tabela 04;

L_x – menor vão da laje;

E – módulo de deformabilidade do concreto = 5600;

H – altura ou espessura da laje.

$$\text{Flecha Limite (cm)} = L_x / 250$$

$$\text{Verificação} = \text{Flecha} \leq \text{Flecha limite} \quad \Rightarrow \quad \text{OK!}$$

Tabela 05: Verificação das flechas das lajes.

Localização	Vão da Laje		Rel.Vãos	α	Flecha (cm)	Flecha Limite (cm)	Verificação
	L_x (m)	L_y (m)	λ (l_y/l_x)	Centro Laje	Centro Laje	($L/250$) - cm	
Laje - L1	6,50	7,30	1,12	2,91	0,41	2,6	Ok!
Laje - L2	6,85	7,30	1,07	1,92	0,33	2,74	Ok!
Laje - L3	6,95	7,30	1,05	2,67	0,491	2,78	Ok!
Laje - L4	6,50	7,00	1,08	2,91	0,409	2,6	Ok!
Laje - L5	6,85	7,00	1,02	1,81	0,314	2,74	Ok!
Laje - L6	6,95	7,00	1,01	2,42	0,445	2,78	Ok!

Fonte: Prof. M. Sc. Antônio de Faria.

Para o cálculo dos momentos máximos nas lajes, utilizaram-se as tabelas 06, 07 e 08, para definirmos os coeficientes μ_x , μ_y , μ'_x e μ'_y .

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

Fonte: CARVALHO, R. C.; FILHO, J. R. F. (2012, p.304 e 305).

Tabela 07 Coeficientes μ_x , μ_y , μ'_x e μ'_y 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'_x	μ_y	μ'_y	μ_x	μ_y	μ'_y	μ_x	μ'_x	μ_y
1,00	2,81	6,99	2,81	6,99	2,15	3,17	6,99	3,17	6,99	2,15
1,05	3,05	7,43	2,81	7,18	2,47	3,32	7,43	3,29	7,20	2,07
1,10	3,30	7,87	2,81	7,36	2,78	3,47	7,87	3,42	7,41	1,99
1,15	3,53	8,28	2,80	7,50	3,08	3,58	8,26	3,52	7,56	1,89
1,20	3,76	8,69	2,79	7,63	3,38	3,70	8,65	3,63	7,70	1,80
1,25	3,96	9,03	2,74	7,72	3,79	3,80	9,03	3,71	7,82	1,74
1,30	4,16	9,37	2,69	7,81	4,15	3,90	9,33	3,79	7,93	1,67
1,35	4,33	9,65	2,65	7,88	4,50	3,96	9,69	3,84	8,02	1,59
1,40	4,51	9,93	2,60	7,94	4,85	4,03	10,00	3,90	8,11	1,52
1,45	4,66	10,41	2,54	8,00	5,19	4,09	10,25	3,94	8,13	1,45
1,50	4,81	10,62	2,47	8,06	5,53	4,14	10,49	3,99	8,15	1,38
1,55	4,93	10,82	2,39	8,09	5,86	4,16	10,70	4,03	8,20	1,34
1,60	5,06	10,99	2,31	8,12	6,18	4,17	10,91	4,06	8,25	1,28
1,65	5,16	11,16	2,24	8,14	6,48	4,14	11,08	4,09	8,28	1,23
1,70	5,27	11,30	2,16	8,15	6,81	4,12	11,24	4,12	8,30	1,18
1,75	5,36	11,43	2,11	8,16	7,11	4,12	11,39	4,14	8,31	1,15
1,80	5,45	11,55	2,04	8,17	7,41	4,10	11,43	4,15	8,32	1,11
1,85	5,53	11,57	1,99	8,17	7,68	4,08	11,65	4,16	8,33	1,08
1,90	5,60	11,67	1,93	8,18	7,95	4,04	11,77	4,17	8,33	1,04
1,95	5,67	11,78	1,91	8,19	8,21	3,99	11,83	4,17	8,33	1,01
2,00	5,74	11,89	1,88	8,20	8,47	3,92	11,88	4,18	8,33	0,97
∞	7,06	12,50	1,95	8,20	12,58	4,13	11,88	4,18	8,33	0,97

Fonte: CARVALHO, R. C.; FILHO, J. R. F. (2012, p.305 e 306).

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

Fonte: CARVALHO, R. C.; FILHO, J. R. F. (2012, p.306).

Na tabela 09, foram calculados os Momentos máximos das lajes, definidos os K_{md} , K_x e K_z , verificando o K_x que deve ser menor ou igual a 0,5, e finalmente o cálculo da área

de aço ($A_{s_{calc.}}$) nas direções x e y, superiores e inferiores. Utilizando as seguintes fórmulas:

$$M \text{ (KN. cm/m)} = \mu. \text{ Carregamento Total da laje. } Lx^2$$

$$K_{md} = 1,4. M / 100 / (h_{adotado} - d')^2 / F_{cd}$$

$$K_x = \text{tabela 01}$$

$$K_z = \text{tabela 01}$$

$$A_{s_{calc.}} \text{ (cm}^2\text{/m)} = 1,4. M / K_z / (h_{adotado} - d') / F_{yd}$$

Tabela 09: Cálculo das armaduras das lajes.

AÇO CA-50										
Localização	Tipo Laje	Rel. V/bs λ (h/b)	μ	M (kN.cm/m)	K _{md}	K _x	Var. K _x	K _z	$A_{s_{calc.}}$ (cm ² /m)	
Laje - L1	4	1,12		3,30	1071	0,058	0,089	Ok!	0,984	2,98
				7,87	2554	0,139	0,225	Ok!	0,910	7,53
				2,81	912	0,050	0,075	Ok!	0,970	2,52
				7,36	2388	0,130	0,209	Ok!	0,917	6,99
Laje - L2	8	1,07		2,78	1002	0,055	0,083	Ok!	0,987	2,78
				6,47	2332	0,127	0,203	Ok!	0,919	6,81
				2,09	763	0,041	0,062	Ok!	0,975	2,07
				5,56	2004	0,109	0,172	Ok!	0,931	5,77
Laje - L3	4	1,05		3,05	1131	0,062	0,084	Ok!	0,952	3,15
				7,43	2798	0,150	0,245	Ok!	0,902	8,20
				2,81	1042	0,067	0,086	Ok!	0,965	2,90
				7,18	2664	0,145	0,235	Ok!	0,906	7,89
Laje - L4	4	1,08		3,30	1071	0,058	0,089	Ok!	0,984	2,98
				7,87	2554	0,139	0,225	Ok!	0,910	7,53
				2,81	912	0,050	0,075	Ok!	0,970	2,52
				7,36	2388	0,130	0,209	Ok!	0,917	6,99
Laje - L5	8	1,02		2,80	844	0,046	0,069	Ok!	0,972	2,33
				6,17	2002	0,109	0,172	Ok!	0,931	5,77
				2,13	691	0,038	0,057	Ok!	0,977	1,90
				5,46	1772	0,096	0,151	Ok!	0,940	5,08
Laje - L6	4	1,01		2,81	1042	0,067	0,086	Ok!	0,965	2,90
				6,99	2693	0,141	0,228	Ok!	0,909	7,89
				2,81	1042	0,067	0,086	Ok!	0,965	2,90
				6,99	2583	0,141	0,228	Ok!	0,909	7,89

Fonte: Prof. M. Sc. Antônio de Faria.

Tabela 10: Cálculo dos espaçamentos de acordo com A_s efetivo.

AÇO CA-50									
Localização		$A_{s_{sup}}$ (cm ² /m)	$A_{s_{inf}}$ (cm ² /m)	$s_{máx}$ (cm)	ϕ (6,3 mm)	ϕ (8,0 mm)	ϕ (10,0 mm)	ϕ (12,5 mm)	
					$A_{s_1} = 0,312 \text{ cm}^2$	$A_{s_1} = 0,503 \text{ cm}^2$	$A_{s_1} = 0,785 \text{ cm}^2$	$A_{s_1} = 1,227 \text{ cm}^2$	
Laje - L1	Mx	2,40	2,98	20	10	17	26	41	
	Mx'	2,40	7,53		4	7	10	16	
	My	2,40	2,52		12	20	31	49	
	My'	2,40	6,99		4	7	11	18	
Laje - L2	Mx	2,40	2,78	20	11	18	28	44	
	Mx'	2,40	6,81		5	7	12	18	
	My	2,40	2,40		13	21	33	51	
	My'	2,40	5,77		5	9	14	21	
Laje - L3	Mx	2,40	3,15	20	10	16	25	39	
	Mx'	2,40	8,20		4	6	10	15	
	My	2,40	2,90		11	17	27	42	
	My'	2,40	7,89		4	6	10	16	
Laje - L4	Mx	2,40	2,98	20	10	17	26	41	
	Mx'	2,40	7,53		4	7	10	16	
	My	2,40	2,52		12	20	31	49	
	My'	2,40	6,99		4	7	11	18	
Laje - L5	Mx	2,40	2,40	20	13	21	33	51	
	Mx'	2,40	5,77		5	9	14	21	
	My	2,40	2,40		13	21	33	51	
	My'	2,40	5,06		6	10	16	24	
Laje - L6	Mx	2,40	2,90	20	11	17	27	42	
	Mx'	2,40	7,66		4	7	10	16	
	My	2,40	2,90		11	17	27	42	
	My'	2,40	7,66		4	7	10	16	

Fonte: Prof. M. Sc. Antônio de Faria.

Para o detalhamento das armaduras nas lajes maciças foi utilizado a tela soldada, conforme tabela 11 de telas soldadas nervuradas Belgo para estruturas de Concreto Armado, logo a armadura utilizada é \geq a armadura calculada.

Tabela 11: Telas soldadas Nervuradas Belgo.

Telas Soldadas Nervuradas Belgo para Estruturas de Concreto Armado											
Série	Aço CA 60	Designação	Espessura		Diâmetro (mm)	Seções (cm ² /m)		Aparição	Dimensões (m)	Peso	
			Long. X Transv.	Long. X Transv.		Long. X Transv.	Long. X Transv.			Long. X Comp.	kg/m ²
61		Q 61	15 x 15		3,4 x 3,4	0,61 x 0,61		PAINEL	2,45 x 6,00	0,97	14,3
75		Q 75	15 x 15		3,8 x 3,8	0,75 x 0,75		PAINEL	2,45 x 6,00	1,21	17,8
92		Q 92	15 x 15		4,2 x 4,2	0,92 x 0,92		PAINEL	2,45 x 6,00	1,48	21,6
		T 92	30 x 15		4,2 x 4,2	0,46 x 0,92		PAINEL	2,45 x 6,00	1,12	16,5
113		Q 113	10 x 10		3,8 x 3,8	1,13 x 1,13		PAINEL	2,45 x 6,00	1,80	26,5
		L 113	10 x 30		3,8 x 3,8	1,13 x 0,38		PAINEL	2,45 x 6,00	1,21	17,8
		T 113	30 x 10		3,8 x 3,8	0,38 x 1,13		PAINEL	2,45 x 6,00	1,22	17,9
138		Q 138	10 x 10		4,2 x 4,2	1,38 x 1,38		PAINEL	2,45 x 6,00	2,20	32,3
		R 138	10 x 15		4,2 x 4,2	1,38 x 0,92		PAINEL	2,45 x 6,00	1,83	26,9
		M 138	10 x 20		4,2 x 4,2	1,38 x 0,69		PAINEL	2,45 x 6,00	1,65	24,3
		L 138	10 x 30		4,2 x 4,2	1,38 x 0,46		PAINEL	2,45 x 6,00	1,47	21,6
		T 138	30 x 10		4,2 x 4,2	0,46 x 1,38		PAINEL	2,45 x 6,00	1,49	21,9
159		Q 159	10 x 10		4,5 x 4,5	1,59 x 1,59		PAINEL	2,45 x 6,00	2,52	37,0
		R 159	10 x 15		4,5 x 4,5	1,59 x 1,06		PAINEL	2,45 x 6,00	2,11	31,0
		M 159	10 x 20		4,5 x 4,5	1,59 x 0,79		PAINEL	2,45 x 6,00	1,90	27,9
		L 159	10 x 30		4,5 x 4,5	1,59 x 0,53		PAINEL	2,45 x 6,00	1,69	24,8
196		Q 196	10 x 10		5,0 x 5,0	1,96 x 1,96		PAINEL	2,45 x 6,00	3,11	45,7
		R 196	10 x 15		5,0 x 5,0	1,96 x 1,30		PAINEL	2,45 x 6,00	2,60	38,2
		M 196	10 x 20		5,0 x 5,0	1,96 x 0,98		PAINEL	2,45 x 6,00	2,34	34,4
		L 196	10 x 30		5,0 x 5,0	1,96 x 0,65		PAINEL	2,45 x 6,00	2,09	30,7
246		T 196	30 x 10		5,0 x 5,0	0,65 x 1,96		PAINEL	2,45 x 6,00	2,11	31,0
		Q 246	10 x 10		5,6 x 5,6	2,46 x 2,46		PAINEL	2,45 x 6,00	3,91	57,5
		R 246	10 x 15		5,6 x 5,6	2,46 x 1,64		PAINEL	2,45 x 6,00	3,26	47,9
		M 246	10 x 20		5,6 x 5,6	2,46 x 1,23		PAINEL	2,45 x 6,00	2,94	43,2
		L 246	10 x 30		5,6 x 5,6	2,46 x 0,82		PAINEL	2,45 x 6,00	2,62	38,5
283		T 246	30 x 10		5,6 x 5,6	0,82 x 2,46		PAINEL	2,45 x 6,00	2,64	38,8
		Q 283	10 x 10		6,0 x 6,0	2,83 x 2,83		PAINEL	2,45 x 6,00	4,48	65,9
		R 283	10 x 15		6,0 x 6,0	2,83 x 1,88		PAINEL	2,45 x 6,00	3,74	55,0
		M 283	10 x 20		6,0 x 6,0	2,83 x 1,41		PAINEL	2,45 x 6,00	3,37	49,5
		L 283	10 x 30		6,0 x 6,0	2,83 x 0,94		PAINEL	2,45 x 6,00	3,00	44,1
335		T 283	30 x 10		6,0 x 6,0	0,94 x 2,83		PAINEL	2,45 x 6,00	3,03	44,5
		Q 335	15 x 15		8,0 x 8,0	3,35 x 3,35		PAINEL	2,45 x 6,00	5,37	78,9
		L 335	15 x 30		8,0 x 8,0	3,35 x 0,94		PAINEL	2,45 x 6,00	3,48	51,2
		T 335	30 x 15		8,0 x 8,0	0,94 x 3,35		PAINEL	2,45 x 6,00	3,45	50,7
396		Q 396	10 x 10		7,1 x 7,1	3,96 x 3,96		PAINEL	2,45 x 6,00	6,28	92,3
		R 396	10 x 15		7,1 x 7,1	3,96 x 2,64		PAINEL	2,45 x 6,00	5,24	77,0
		M 396	10 x 20		7,1 x 7,1	3,96 x 1,98		PAINEL	2,45 x 6,00	4,73	69,5
		L 396	10 x 30		7,1 x 7,1	3,96 x 0,94		PAINEL	2,45 x 6,00	3,91	57,5
		T 396	30 x 10		7,1 x 7,1	0,94 x 3,96		PAINEL	2,45 x 6,00	3,92	57,6
503		Q 503	10 x 10		8,0 x 8,0	5,03 x 5,03		PAINEL	2,45 x 6,00	7,97	117,2
		R 503	10 x 15		8,0 x 8,0	5,03 x 3,35		PAINEL	2,45 x 6,00	6,66	97,9
		M 503	10 x 20		8,0 x 8,0	5,03 x 2,51		PAINEL	2,45 x 6,00	6,00	88,2
		L 503	10 x 30		8,0 x 8,0	5,03 x 0,94		PAINEL	2,45 x 6,00	4,77	70,1
636		T 503	30 x 10		8,0 x 8,0	0,94 x 5,03		PAINEL	2,45 x 6,00	4,76	70,0
		Q 636	10 x 10		9,0 x 9,0	6,36 x 6,36		PAINEL	2,45 x 6,00	10,09	148,3
785		L 636	10 x 30		9,0 x 9,0	6,36 x 0,94		PAINEL	2,45 x 6,00	5,84	85,8
		Q 785	10 x 10		10,0 x 10,0	7,85 x 7,85		PAINEL	2,45 x 6,00	12,46	183,2
1131		L 785	10 x 30		10,0 x 10,0	7,85 x 0,94		PAINEL	2,45 x 6,00	7,03	103,3
		L 1131	10 x 30		12,0 x 7,1	11,31 x 1,32		PAINEL	2,45 x 6,00	10,09	118,6

Outras dimensões sob consulta.

Fonte: www.belgo.com.br.

10.5. DETALHAMENTO: LAJE MACIÇA

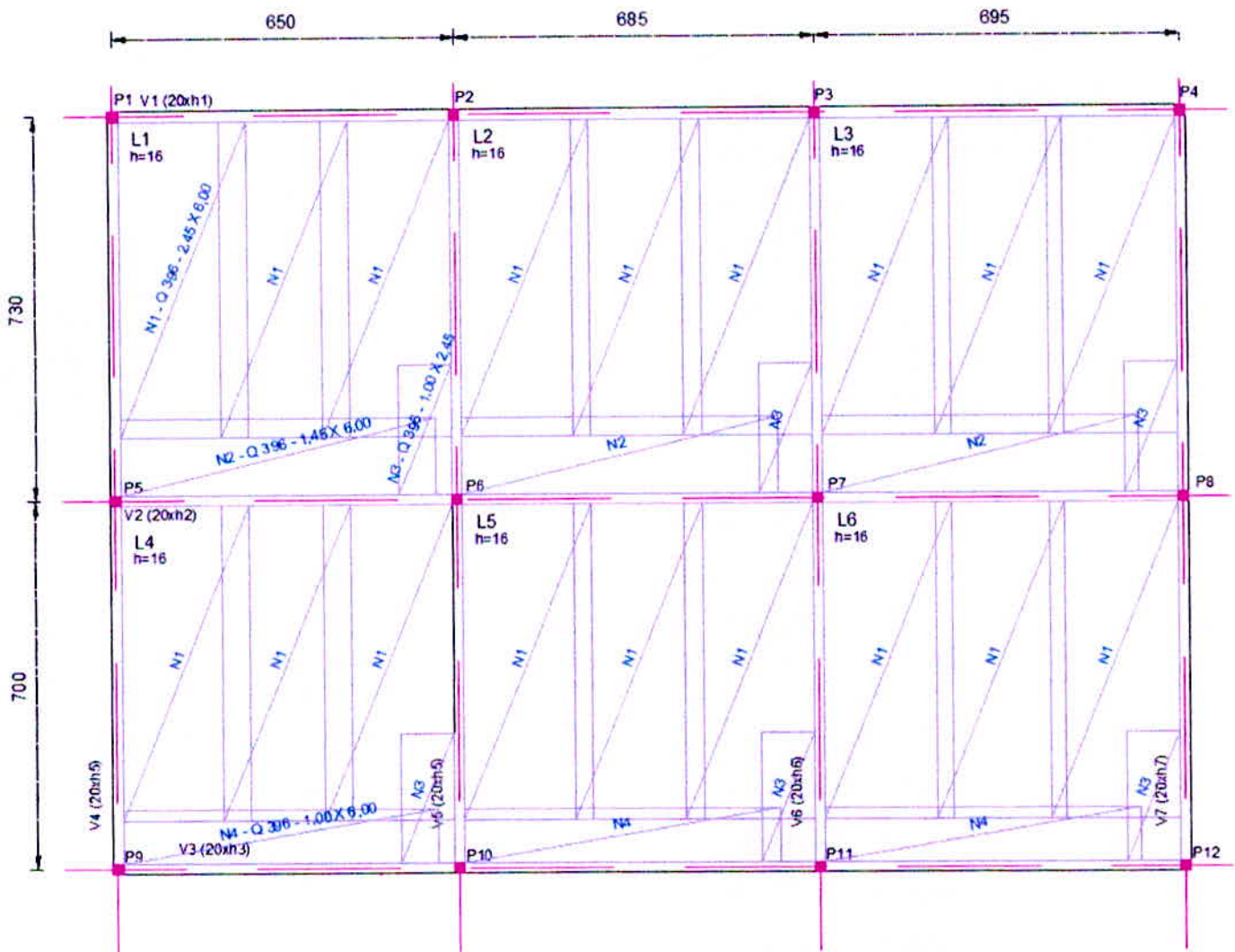


Figura 17 – Detalhamento das armaduras inferiores das lajes maciças do projeto.

Tabela 12: Relação de telas Soldadas Ca 60.

Relação de telas - Armaduras CA 60			
N°	Designação	Quantidade (Unid.)	Dimensão (m)
1	Q 396	18	2,45 X 6,00
2	Q 396	3	1,45 X 6,00
3	Q 396	6	1,00 X 2,45
4	Q 396	3	1,00 X 6,00
5	Q 785	18	2,45 X 6,00
6	Q 785	3	1,45 X 6,00
7	Q 785	6	1,00 X 2,45
8	Q 785	3	1,00 X 6,00

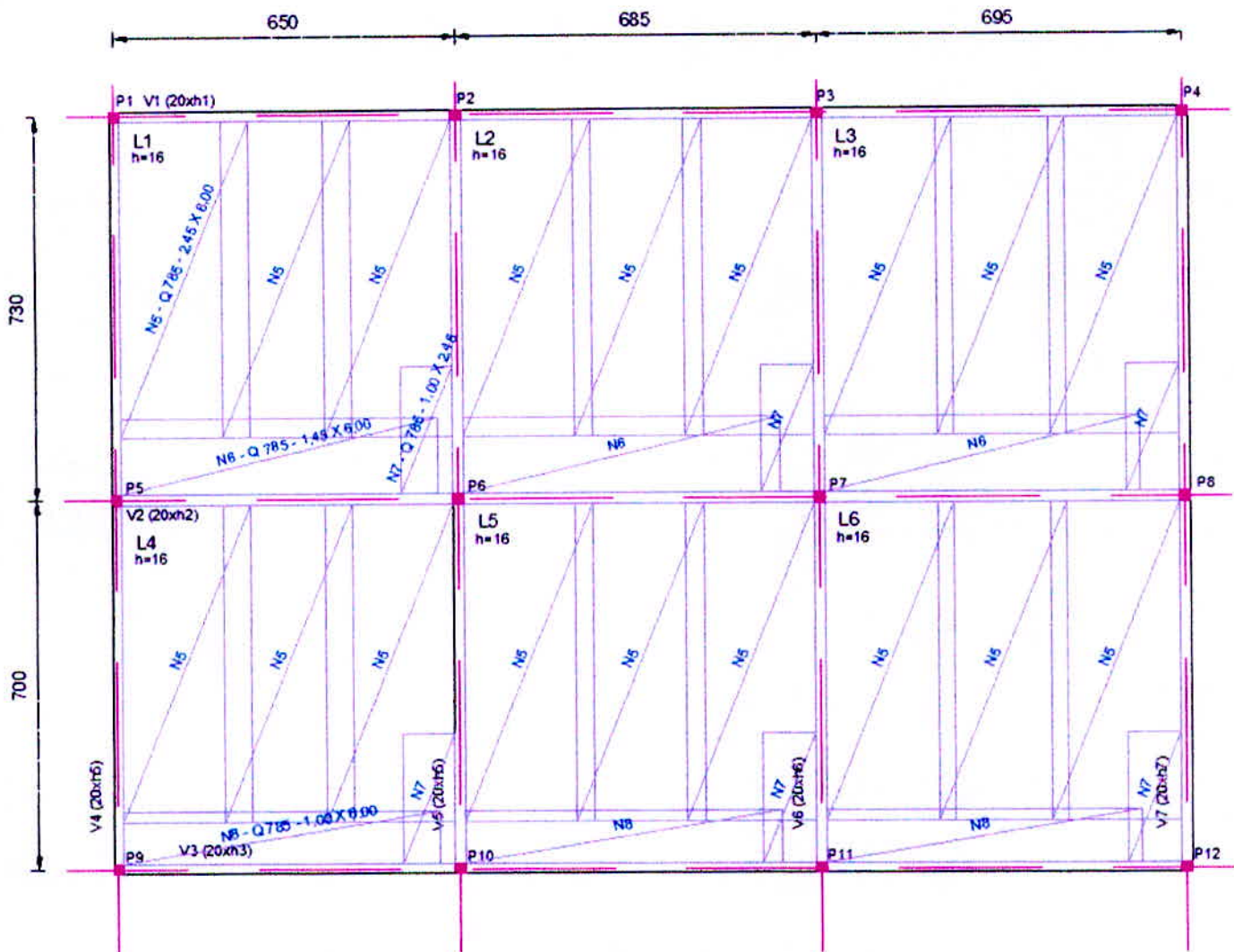


Figura 18 – Detalhamento armaduras superiores das lajes maciças do projeto.

Tabela 13: Relação dos painéis telas Soldadas.

Resumo de Telas		
Aço	Designação	Quantidade e dimensões (m)
CA 60	Q 396	22 Painéis - 2,45 X 6,00
CA 60	Q 785	22 Painéis - 2,45 X 6,00

Fonte: Autoria Própria.

10.6. DIMENSIONAMENTO: LAJE NERVURADA MOLDADA “IN LOCO”

A laje nervurada a ser dimensionada será do tipo normal (direta). Nesta laje os espaços entre as nervuras permanecerão vazios, exigindo-se nesse caso a utilização de fôrmas de polipropileno. Para uma laje ser dita bidirecional a razão entre “Ly” e “Lx” (maior e menor dimensão da laje, respectivamente) deve ser menor ou igual a 2 (dois):

Laje 1: $730 / 650 = 1,12 \rightarrow \text{ok}$

Laje 2: $730 / 685 = 1,06 \rightarrow \text{ok}$

Laje 3: $730 / 695 = 1,05 \rightarrow \text{ok}$

Laje 4: $700 / 650 = 1,07 \rightarrow \text{ok}$

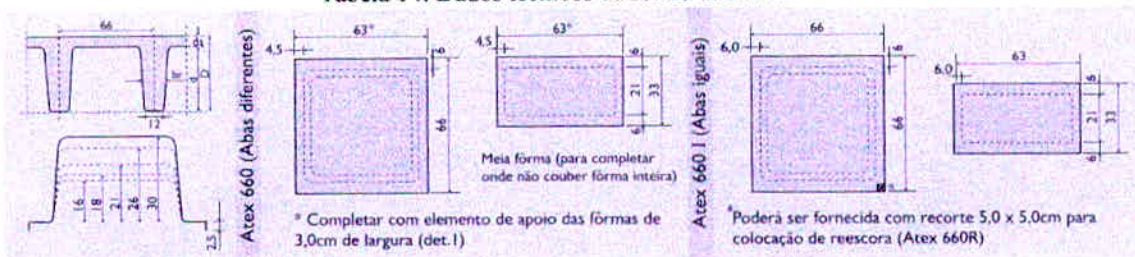
Laje 5: $700 / 685 = 1,02 \rightarrow \text{ok}$

Laje 6: $700 / 695 = 1,01 \rightarrow \text{ok}$

As lajes nervuradas bidirecionais segundo a NBR 6118:2003, item 14.7.7 (e ainda conforme NBR 14859-2), podem ser dimensionadas, para efeito dos esforços solicitantes como lajes maciças e/ou grelha equivalente. Neste projeto foi dimensionado como laje maciça.

Será utilizada a forma de polipropileno Atex 660 I (Abas iguais), conforme tabela 14.

Tabela 14: Dados técnicos da forma adotada.



ALTURA DA FÔRMA	ESPESSURA DA LÂMINA	ALTURA TOTAL	LARGURA DA NERVURA			ÁREA DA SEÇÃO	DISTÂNCIA DO C.G. A		INÉRCIA	MÓDULO DE FLEXÃO		VOLUME DO VAZIO		PESO PRÓPRIO	VOLUME DE CONCRETO
			INTERIOR	SUPERIOR	MÉDIA		FACE SUPERIOR	FACE INFERIOR		W _x	W _y	m ³	m ³ /m ²		
cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm ²	cm	cm	cm ⁴	cm ³	cm ³	m ³	m ³ /m ²	kN/m ²	m ³ /m ²
18,0	5,0	23,0	12,0	14,2	13,1	586	7,0	16,0	24905	3543	1559	0,058	0,119	2,78	0,111
	7,5	25,5				761	7,6	17,9	34229	4492	1914			3,40	0,136
	10,0	28,0				936	8,5	19,5	45523	5381	2330			4,03	0,161

Fonte: <http://www.atex.com.br/Produtos>.

Peso próprio da laje (g₁): 2,78 KN/m² (Catalogo técnico)

Revestimento (g₂): Argamassa (e = 1,0 cm) + piso industrializado = 1,0 KN/m²

Sobrecarga (q): 3,0 KN/m² (Galerias de lojas - NBR-6120)

Peso total: $2,78 + 1,00 + 3,00 = 6,78 \text{ KN/m}^2$

Dimensionamento lajes 1, 3 4 e 6:

Cálculo dos máximos momentos atuantes na laje:

O cálculo dos momentos máximos (carregamento total) nas direções x (m_x) e y (m_y), por largura unitária de laje, foram feitos também como para as maciças, a partir das tabelas para o cálculo de lajes.

Laje 1 = Laje 3 = Laje 4 = Laje 6: Caso 4

$$\lambda: 730 / 650 = 1,12$$

$$\mu_x = 3,30$$

$$\mu_x' = 7,87$$

$$\mu_y = 2,81$$

$$\mu_y' = 7,36$$

$$m_x = \mu_x \cdot (p \cdot l_x^2 / 100)$$

$$m_x = 3,30 \cdot (6,78 \cdot 6,50^2 / 100) = 9,45 \text{ KN/m}$$

$$m_x = 9,45 \cdot 0,66 = 6,24 \text{ KNm/nervura}$$

$$m_y = \mu_y \cdot (p \cdot l_x^2 / 100)$$

$$m_y = 2,81 \cdot (6,78 \cdot 6,50^2 / 100) = 8,05 \text{ KN/m}$$

$$m_y = 8,05 \cdot 0,66 = 5,31 \text{ KNm/nervura}$$

$$m_x' = \mu_x' \cdot (p \cdot l_x^2 / 100)$$

$$m_x' = 7,87 \cdot (6,78 \cdot 6,50^2 / 100) = 22,54 \text{ KN/m}$$

$$m_x' = 22,54 \cdot 0,66 = 14,88 \text{ KNm/nervura}$$

$$m_y' = \mu_y' \cdot (p \cdot l_x^2 / 100)$$

$$m_y' = 7,36 \cdot (6,78 \cdot 6,50^2 / 100) = 21,08 \text{ KN/m}$$

$$m_y' = 21,08 \cdot 0,66 = 13,92 \text{ KNm/nervura}$$

$$\text{Flecha (cm) centro laje} = a = (P. \text{ Total} / 100) \cdot (L_x \cdot 100)^4 \cdot \alpha / (0,85 \cdot 5600 \cdot \sqrt{F_{ck}} / 10 / H_{\text{adotado}}^3 / 100)$$

Em que:

P – carregamento uniformemente distribuído sobre a laje;

α – coeficiente retirado da tabela 04;

L_x – menor vão da laje;

E – módulo de deformabilidade do concreto = 5600;

H – altura ou espessura da laje.

Tabela 15: Cálculo da Flecha – L1, L3, L4 e L6.

Flecha Centro Laje	Tipo Laje	Rel.Vãos	α	a (cm)
		$\lambda (L_y/L_x)$		
a	4	1,12	2,91	0,12

Fonte: Prof. M. Sc. Antônio de Faria.

$$\text{Flecha Limite (cm)} = L_x / 250 = 650 / 250 = 2,6 \text{ cm}$$

Verificação = Flecha \leq Flecha limite \Rightarrow OK!

Na tabela 16, foi calculada a área de aço ($A_{s\text{calc}}$) nas direções x e y, superiores e inferiores para as lajes 1, 3, 4 e 6. Utilizando as seguintes fórmulas:

$$K_{md} = 1,4 \cdot M / 100 / (h_{\text{adotado}} - d')^2 / F_{cd}$$

K_x = tabela 01

K_z = tabela 01

$$A_{s\text{calc}} \text{ (cm}^2\text{/nervura)} = 1,4 \cdot M / K_z / (h_{\text{adotado}} - d') / F_{yd}$$

Tabela 16: Cálculo da armadura – L1, L3, L4 e L6.

Momento Fletor (Convencional)	$M_{\text{convencional}}$ (kN.cm/nervura)	k_{md}	k_x	k_z	$A_{s\text{calc}}$ (cm ² /nervura)	Armadura Adotada
Mx	624,00	0,021	0,031	0,988	1,07	2 # 8,0 mm - 1,00 cm ²
Mx'	1.488,00	0,049	0,074	0,970	2,60	2 # 12,5 + 1 # 8,0 mm - 2,95 cm ²
My	531,00	0,017	0,026	0,990	0,91	2 # 8,0 - 1,00 cm ²
My'	1.392,00	0,046	0,069	0,972	2,43	2 # 12,5 + # 8,0 mm - 2,95 cm ²

Fonte: Prof. M. Sc. Antônio de Faria.

Cálculo das reações de apoio:

Para o cálculo das reações de apoio das lajes, foi utilizado as tabelas 17, 18 e 19, usando a seguinte equação:

$$V = K \cdot P \cdot L_x / 1000$$

Onde:

V – Reação no apoio (KN/m);

K – Coeficiente para cálculo das reações;

P – Carregamento total da laje (KN/m²);

L_x – Menor vão da laje.

Tabela 17: Coeficientes K_x, K_y, K'_x e K'_y para o cálculo das reações nas vigas de apoio de lajes retangulares uniformemente carregadas (Casos 1, 2 e 3).

λ	Caso 1		Caso 2			Caso 3		
	K _x	K _y	K _x	K _y	K' _y	K _x	K' _x	K _y
1,00	2,50	2,50	1,83	2,32	4,02	2,32	4,02	1,83
1,05	2,62	2,50	1,92	2,37	4,10	2,38	4,13	1,83
1,10	2,73	2,50	2,01	2,41	4,17	2,44	4,23	1,83
1,15	2,83	2,50	2,10	2,44	4,22	2,50	4,32	1,83
1,20	2,92	2,50	2,20	2,46	4,27	2,54	4,41	1,83
1,25	3,00	2,50	2,29	2,48	4,30	2,59	4,48	1,83
1,30	3,08	2,50	2,38	2,49	4,32	2,63	4,55	1,83
1,35	3,15	2,50	2,47	2,50	4,33	2,67	4,62	1,83
1,40	3,21	2,50	2,56	2,50	4,33	2,70	4,68	1,83
1,45	3,28	2,50	2,64	2,50	4,33	2,74	4,74	1,83
1,50	3,33	2,50	2,72	2,50	4,33	2,77	4,79	1,83
1,55	3,39	2,50	2,80	2,50	4,33	2,80	4,84	1,83
1,60	3,44	2,50	2,87	2,50	4,33	2,82	4,89	1,83
1,65	3,48	2,50	2,93	2,50	4,33	2,85	4,93	1,83
1,70	3,53	2,50	2,99	2,50	4,33	2,87	4,97	1,83
1,75	3,57	2,50	3,05	2,50	4,33	2,89	5,01	1,83
1,80	3,61	2,50	3,10	2,50	4,33	2,92	5,05	1,83
1,85	3,65	2,50	3,15	2,50	4,33	2,94	5,09	1,83
1,90	3,68	2,50	3,20	2,50	4,33	2,96	5,12	1,83
1,95	3,72	2,50	3,25	2,50	4,33	2,97	5,15	1,83
2,00	3,75	2,50	3,29	2,50	4,33	2,99	5,18	1,83
∞	5,00	2,50	5,00	2,50	4,33	3,66	6,25	1,83

Fonte: CARVALHO, R. C.; FILHO, J. R. F. (2012, p.314).

Tabela 18: Coeficientes K_x , K_y , K'_x e K'_y para o cálculo das reações nas vigas de apoio de lajes retangulares uniformemente carregadas (Casos 4, 5 e 6).

λ	Caso 4				Caso 5		Caso 6	
	K_x	K'_x	K_y	K'_y	K_x	K'_y	K'_x	K_y
1,00	1,83	3,17	1,83	3,17	1,44	3,56	3,56	1,44
1,05	1,92	3,32	1,83	3,17	1,52	3,66	3,63	1,44
1,10	2,00	3,46	1,83	3,17	1,59	3,75	3,69	1,44
1,15	2,07	3,58	1,83	3,17	1,66	3,84	3,74	1,44
1,20	2,14	3,70	1,83	3,17	1,73	3,92	3,80	1,44
1,25	2,20	3,80	1,83	3,17	1,80	3,99	3,85	1,44
1,30	2,25	3,90	1,83	3,17	1,88	4,06	3,89	1,44
1,35	2,30	3,99	1,83	3,17	1,95	4,12	3,93	1,44
1,40	2,35	4,08	1,83	3,17	2,02	4,17	3,97	1,44
1,45	2,40	4,15	1,83	3,17	2,09	4,22	4,00	1,44
1,50	2,44	4,23	1,83	3,17	2,17	4,25	4,04	1,44
1,55	2,48	4,29	1,83	3,17	2,24	4,28	4,07	1,44
1,60	2,52	4,36	1,83	3,17	2,31	4,30	4,10	1,44
1,65	2,55	4,42	1,83	3,17	2,38	4,32	4,13	1,44
1,70	2,58	4,48	1,83	3,17	2,45	4,33	4,15	1,44
1,75	2,61	4,53	1,83	3,17	2,53	4,33	4,17	1,44
1,80	2,64	4,58	1,83	3,17	2,59	4,33	4,20	1,44
1,85	2,67	4,63	1,83	3,17	2,66	4,33	4,22	1,44
1,90	2,70	4,67	1,83	3,17	2,72	4,33	4,24	1,44
1,95	2,72	4,71	1,83	3,17	2,78	4,33	4,26	1,44
2,00	2,75	4,75	1,83	3,17	2,84	4,33	4,28	1,44
∞	3,66	6,33	1,83	3,17	5,00	4,33	5,00	1,44

Fonte: CARVALHO, R. C.; FILHO, J. R. F. (2012, p.315).

Tabela 19: Coeficientes K_x , K_y , K'_x e K'_y para o cálculo das reações nas vigas de apoio de lajes retangulares uniformemente carregadas (Casos 7, 8 e 9).

λ	Caso 7			Caso 8			Caso 9	
	K_x	K'_x	K'_y	K'_x	K_y	K'_y	K'_x	K'_y
1,00	1,44	2,50	3,03	3,03	1,44	2,50	2,50	2,50
1,05	1,52	2,63	3,08	3,12	1,44	2,50	2,62	2,50
1,10	1,59	2,75	3,11	3,21	1,44	2,50	2,73	2,50
1,15	1,66	2,88	3,14	3,29	1,44	2,50	2,83	2,50
1,20	1,73	3,00	3,16	3,36	1,44	2,50	2,92	2,50
1,25	1,80	3,13	3,17	3,42	1,44	2,50	3,00	2,50
1,30	1,88	3,25	3,17	3,48	1,44	2,50	3,08	2,50
1,35	1,94	3,36	3,17	3,54	1,44	2,50	3,15	2,50
1,40	2,00	3,47	3,17	3,59	1,44	2,50	3,21	2,50
1,45	2,06	3,57	3,17	3,64	1,44	2,50	3,28	2,50
1,50	2,11	3,66	3,17	3,69	1,44	2,50	3,33	2,50
1,55	2,16	3,75	3,17	3,73	1,44	2,50	3,39	2,50
1,60	2,21	3,83	3,17	3,77	1,44	2,50	3,44	2,50
1,65	2,25	3,90	3,17	3,81	1,44	2,50	3,48	2,50
1,70	2,30	3,98	3,17	3,84	1,44	2,50	3,53	2,50
1,75	2,33	4,04	3,17	3,87	1,44	2,50	3,57	2,50
1,80	2,37	4,11	3,17	3,90	1,44	2,50	3,61	2,50
1,85	2,40	4,17	3,17	3,93	1,44	2,50	3,65	2,50
1,90	2,44	4,21	3,17	3,96	1,44	2,50	3,68	2,50
1,95	2,47	4,28	3,17	3,99	1,44	2,50	3,72	2,50
2,00	2,50	4,33	3,17	4,01	1,44	2,50	3,75	2,50
∞	3,66	6,34	3,17	5,00	1,44	2,50	5,00	2,50

Fonte: CARVALHO, R. C.; FILHO, J. R. F. (2012, p.316).

Tabela 20: Cálculo das reações de apoio.

Reação de Apoio	Tipo Laje	Rel.Vãos	K	V (kNm)
		$\lambda (L_y/L_x)$		
V_x	4	1,12	2,00	8,95
V_x'			3,46	15,49
V_y			1,83	8,19
V_y'			3,17	14,19

Fonte: Prof. M. Sc. Antônio de Faria.

Verificação da necessidade de armadura transversal

As recomendações da NBR 6118:2003 para verificar o efeito da força cortante em lajes (maciças e nervuradas com espaçamento entre nervuras menor que 65 cm) e em elementos lineares com $b_w \geq 5 \cdot d$ encontram-se no item 19.4. Duas situações são previstas: lajes sem armadura para força cortante e lajes com armadura para força cortante. As recomendações para lajes sem armadura para força cortante encontram-se

no item 19.4.1 da Norma, em que se permite prescindir da armadura transversal para resistir aos esforços de tração causados pela força cortante, desde que os requisitos de ancoragem estejam satisfeitos conforme o item 9.4.5, se a força cortante solicitante de cálculo (V_{Rd}) tem que ser menor ou igual à resistência de projeto ao cisalhamento (V_{rd1}). Para verificação da necessidade de Armadura Transversal, foram utilizadas as seguintes equações:

$$\tau_{Rd} \text{ (Mpa)} = 0,0375 \cdot f_{ck}^{2/3}$$

$$K = 1,6 - (h - d') / 100$$

$$\rho_1 \text{ (cm}^2\text{/cm}^2\text{)} = A_s / b_w \cdot (h - d')$$

$$V_{Rd1} \text{ (kN)} = \tau_{Rd} / 10 \cdot K \cdot (1,2 + 40 \cdot \rho_1) \cdot b_w \cdot (h - d')$$

$$V_{Rd} \text{ (kN)} = 1,4 \cdot V$$

Tabela 21: Dados das Lajes 1, 3, 4 e 6 – Direção Horizontal

Direção Horizontal	
b_f (cm)	66,0
b_w (cm)	12,0
h_f (cm)	5,0
h (cm)	23,0
d' (cm)	4,0
Vão da Laje-direção nervuras (cm)	730,0
Armadura Tractionada - A_s (cm ² /m)	1,07

Fonte: Prof. M. Sc. Antônio de Faria.

Tabela 22: Verificação L1, L3, L4 e L6 – Armadura transversal – Direção horizontal

τ_{Rd} (MPa)	0,321
k	1,41
ρ_1 (cm ² /cm ²)	0,0047
V_{Rd1} (kN)	14,30
V_{Rd} (kN)	12,53
Verificação	Sem Arm. Transv.
$b_{w,min}$ (cm)	10,51

Fonte: Prof. M. Sc. Antônio de Faria.

Tabela 23: Dados das Lajes 1, 3, 4 e 6 – Direção Vertical.

Direção Vertical	
b_r (cm)	66,0
b_w (cm)	12,0
h_r (cm)	5,0
h (cm)	23,0
d' (cm)	4,0
Vão da Laje-direção nervuras (cm)	650,0
Armadura Tracionada - As (cm ² /m)	0,91

Fonte: Prof. M. Sc. Antônio de Faria.

Tabela 24: Verificação L1, L3, L4 e L6 – Armadura transversal – Direção horizontal.

τ_{Rd} (MPa)	0,321
k	1,41
ρ_1 (cm ² /cm ²)	0,0040
V_{Rd1} (kN)	14,01
V_{Rd} (kN)	11,47
Verificação	Sem Arm. Transv.
$b_{w,min}$ (cm)	9,82

Fonte: Prof. M. Sc. Antônio de Faria.

Dimensionamento lajes 2 e 5:

Laje 2 = Laje 5: Caso 8

$$\lambda: 730 / 685 = 1,06$$

$$\mu_x = 2,78$$

$$\mu_x' = 6,47$$

$$\mu_y = 2,09$$

$$\mu_y' = 5,56$$

$$m_x = \mu_x \cdot (p \cdot l_x^2 / 100)$$

$$m_x = 2,78 \cdot (6,78 \cdot 6,85^2 / 100) = 8,84 \text{ KN/m}$$

$$m_x = 8,84 \cdot 0,66 = 5,84 \text{ KNm/nervura}$$

$$m_y = \mu_y \cdot (p \cdot l_x^2 / 100)$$

$$m_y = 2,09 \cdot (6,78 \cdot 6,85^2 / 100) = 6,65 \text{ KN/m}$$

$$m_y = 6,65 \cdot 0,66 = 4,39 \text{ KNm/nervura}$$

$$m_x' = \mu_x' \cdot (p \cdot l_x^2 / 100)$$

$$m_x' = 6,47 \cdot (6,78 \cdot 6,85^2 / 100) = 20,58 \text{ KN/m}$$

$$m_x' = 20,58 \cdot 0,66 = 13,58 \text{ KNm/nervura}$$

$$m_y' = \mu_y' \cdot (p \cdot l_x^2 / 100)$$

$$m_y' = 5,56 \cdot (6,78 \cdot 6,85^2 / 100) = 17,68 \text{ KN/m}$$

$$m_y' = 17,68 \cdot 0,66 = 11,67 \text{ KNm/nervura}$$

$$\text{Flecha (cm) centro laje} = a = (P \cdot \text{Total} / 100) \cdot (L_x \cdot 100)^4 \cdot \alpha / (0,85 \cdot 5600 \cdot \sqrt{F_{ck}} / 10 / H_{\text{adotado}}^3 / 100)$$

Em que:

P – carregamento uniformemente distribuído sobre a laje;

α – coeficiente retirado da tabela 17;

L_x – menor vão da laje;

E – módulo de deformabilidade do concreto = 5600;

H – altura ou espessura da laje.

Tabela 25: Cálculo da Flecha – L2 e L5.

Flecha Centro Laje	Tipo Laje	Rel.Vãos	α	a (cm)
		$\lambda (L_y/L_x)$		
a	8	1,07	2,91	0,15

Fonte: Prof. M. Sc. Antônio de Faria.

$$\text{Flecha Limite (cm)} = L_x / 250 = 685 / 250 = 2,74 \text{ cm}$$

$$\text{Verificação} = \text{Flecha} \leq \text{Flecha limite} \quad \Rightarrow \quad \text{OK!}$$

Na tabela 26, foi calculada a área de aço ($A_{s\text{calc}}$) nas direções x e y, superiores e inferiores para as lajes 2 e 5. Utilizando as seguintes fórmulas:

$$K_{md} = 1,4 \cdot M / 100 / (h_{\text{adotado}} - d')^2 / F_{cd}$$

$$K_x = \text{tabela 01}$$

$$K_z = \text{tabela 01}$$

$$A_{s_{\text{calc}}} \text{ (cm}^2\text{/nervura)} = 1,4 \cdot M / K_z / (h_{\text{adotado}} - d') / F_{yd}$$

Tabela 26: Cálculo da armadura – L2 e L5.

Momento Fletor (Convencional)	M _{convencional} (kN.cm/nervura)	k _{md}	k _x	k _z	A _{s_{calc}} (cm ² /nervura)	Armadura Adotada
M _x	584,00	0,019	0,029	0,989	1,00	2 # 8,0 mm - 1,00 cm ²
M _{x'}	1.358,00	0,045	0,068	0,973	2,37	3 # 10,0 mm - 2,35 cm ²
M _y	439,00	0,014	0,021	0,991	0,75	2 # 8,0 - 1,00 cm ²
M _{y'}	1.167,00	0,038	0,058	0,977	2,02	3 # 10,0 mm - 2,35 cm ²

Fonte: Prof. M. Sc. Antônio de Faria.

Calculo das reações de apoio:

Para o calculo das reações de apoio das lajes, foi utilizado as tabelas 17, 18 e 19, usando a seguinte equação:

$$V = K \cdot P \cdot L_x / 1000$$

Onde:

V – Reação no apoio (KN/m);

K – Coeficiente para cálculo das reações;

P – Carregamento total da laje (KN/m²);

L_x – Menor vão da laje.

Verificação da necessidade de armadura transversal

Para verificação da necessidade de Armadura Transversal, foram utilizadas as seguintes equações, conforme NBR 6118:2003:

$$\tau_{Rd} \text{ (Mpa)} = 0,0375 \cdot F_{ck}^{2/3}$$

$$K = 1,6 - (h - d') / 100$$

$$\rho_1 \text{ (cm}^2\text{/cm}^2\text{)} = A_s / b_w / (h - d')$$

$$V_{Rd1} \text{ (KN)} = \tau_{Rd} / 10 \cdot K \cdot (1,2 + 40 \cdot \rho_1) \cdot b_w \cdot (h - d')$$

$$V_{Rd} \text{ (KN)} = 1,4 \cdot V$$

Tabela 27: Dados das Lajes 2, e 5 – Direção Horizontal.

Direção Horizontal	
b _f (cm)	66,0
b _w (cm)	12,0
h _f (cm)	5,0
h (cm)	23,0
d'(cm)	4,0
Vão da Laje-direção nervuras (cm)	730,0
Armadura Tracionada - A _s (cm ² /m)	1,00

Fonte: Prof. M. Sc. Antônio de Faria.

Tabela 28: Verificação L2 e L5 – Armadura transversal – Direção horizontal

τ_{Rd} (MPa)	0,321
k	1,41
ρ_1 (cm ² /cm ²)	0,0047
V_{Rd1} (kN)	14,30
V_{Rd} (kN)	12,53
Verificação	Sem Arm. Transv.
$b_{w,min}$ (cm)	10,51

Fonte: Prof. M. Sc. Antônio de Faria.

Tabela 29: Dados das Lajes 2, e 5 – Direção Vertical.

Direção Vertical	
b_r (cm)	66,0
b_w (cm)	12,0
h_r (cm)	5,0
h (cm)	23,0
d'(cm)	4,0
Vão da Laje-direção nervuras (cm)	685,0
Armadura Tracionada - As (cm ² /m)	0,75

Fonte: Prof. M. Sc. Antônio de Faria.

Tabela 30: Verificação L2 e L5– Armadura transversal – Direção Vertical.

τ_{Rd} (MPa)	0,321
k	1,41
ρ_1 (cm ² /cm ²)	0,0040
V_{Rd1} (kN)	14,01
V_{Rd} (kN)	11,47
Verificação	Sem Arm. Transv.
$b_{w,min}$ (cm)	9,82

Fonte: Prof. M. Sc. Antônio de Faria.

10.7. DETALHAMENTO: LAJE NERVURADA MOLDADA “IN LOCO”

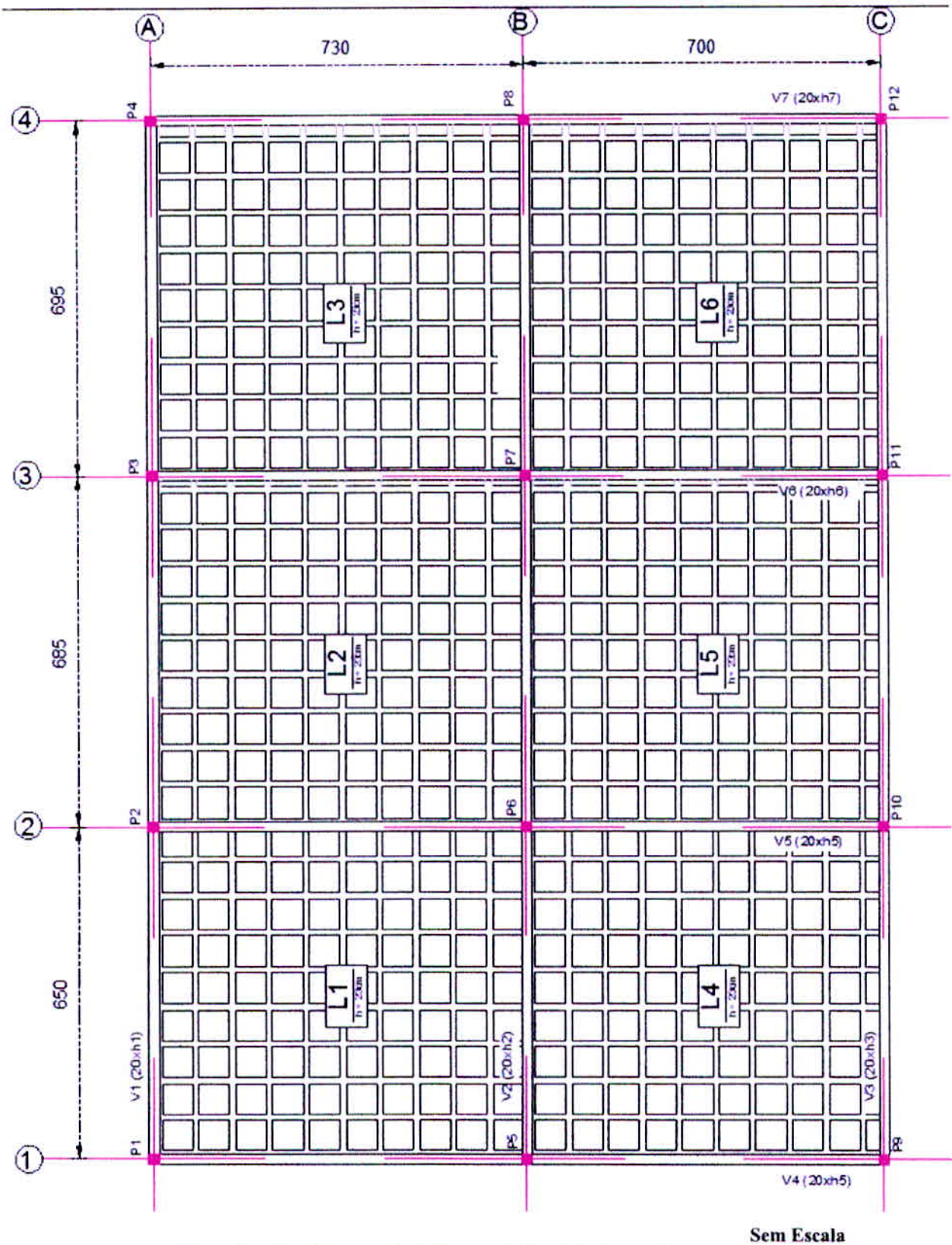


Figura 19 – Detalhamento: Laje Nervurada Moldada “in loco”.

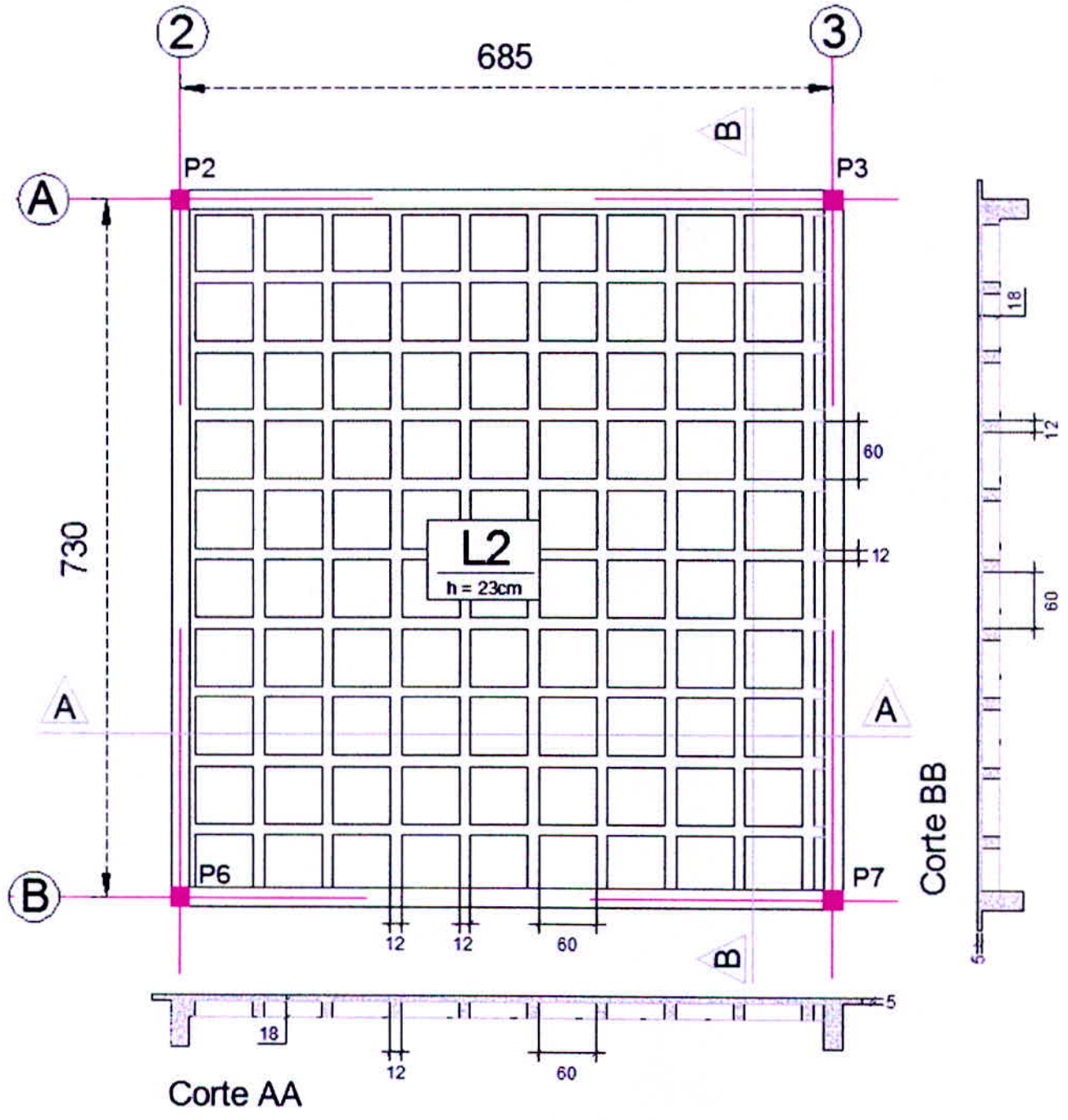


Figura 20 – Detalhamento: Laje 02 Nervurada Moldada “in loco”. Sem Escala

10.8. DIMENSIONAMENTO: LAJE NERVURADA PRÉ-MOLDADA

Esta laje será formada por vigotas tipo trilho em concreto armado, lajota cerâmica conforme figura 21 e por uma capa de concreto de 4 cm moldada no local.

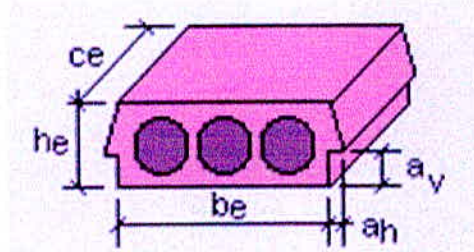


Figura 21 – Lajota cerâmica.
Fonte: Desconhecida.

Tabela 31: Dados das lajotas cerâmicas e cálculo do peso da laje.

Material Bloco	Beta	b_b (cm)	h_b (cm)	c_b (cm)	a_b (cm)	a_v (cm)	massa (kg)	Capa (cm)	b_v (cm)	h_v (cm)	V_{bloco} (cm ³)	$\gamma_{aparente}$ (kN/m ³) bloco	A_{bloco} (cm ²)	$A_{conc.}$ (cm ²)	Peso Laje (kN/m ²)
Cerâmica	Beta 11	24,0	7,0	20,0	1,5	2,5	2.900	4,0	13,0	1,5	3495	8,14	174,8	232,3	1,95
	Beta 12	30,0	8,0	20,0	1,5	3,0	2.760	4,0	13,0	3,0	4950	5,47	247,5	268,5	1,88
	Beta 16	30,0	12,0	20,0	1,5	3,0	4.660	4,0	13,0	3,0	7470	6,12	373,5	314,5	2,36
	Beta 20	30,0	16,0	20,0	1,5	3,0	5.500	4,0	13,0	3,0	9990	5,40	499,5	360,5	2,72

Fonte: Prof. M. Sc. Antônio de Faria.

Será utilizada a lajota cerâmica Beta 20 apresentada na tabela 31 e a treliça TG 20R apresentada na tabela 33.

Tabela 32: Dimensões da vigota.

Vigota		
h_v (cm)	2,5	
b_v (cm)	13,0	

Tabela 33: Especificação das treliças armadas.

Designação Gardeou	Designação	Peso (kg/m)	Alizura (cm)	Banzo superior (mm)	Diagonal (mm)	Banzo inferior (mm)
TG 12 M	TR 12645	0,886	12	6,0	4,2	5,0
TG 12 R	TR 12646	1,016	12	6,0	4,2	6,0
TG 16 L	TR 16745	1,032	16	7,0	4,2	5,0
TG 16 R	TR 16748	1,168	16	7,0	4,2	6,0
TG 20 L	TR 20745	1,111	20	7,0	4,2	5,0
TG 20 R	TR 20756	1,448	20	7,0	4,2	6,0
TG 25 L	TR 25856	1,686	25	8,0	5,0	6,0
TG 25 R	TR 25857	1,855	25	8,0	5,0	7,0
TG 8 L	TR 08644	0,735	8	6,0	4,2	4,2
TG 8 M	TR 08645	0,821	8	6,0	4,2	5,0

Fonte: <http://www.engferferragens.com.br/trelicas.htm>.

Cálculo da distribuição do peso total da laje:

Tipo: Laje Pré-Fabricada.

Revestimento: Argamassa (e = 1,0 cm) + piso industrializado = 0,7 KN/m²

Peso próprio da laje: 2,72 KN/m²

Sobrecarga: 3,0 KN/m² (Galerias de lojas - NBR-6120)

Peso total: 6,42 KN/m²

Tabela 34: Dados iniciais para dimensionamento das lajes.

Materiais		Aço CA (kN/cm ²)	80			Concreto (MPa)		25		Treliça	TG 16R		
Laje	Tipo	L (cm)	b _v (cm)	h _v (cm)	h (cm)	b _w (cm)	d' (cm)	g1 (PP) (kN/m ²)	g2 (Rev) (kN/m ²)	Outras (kN/m ²)	q (Sobr) (kN/m ²)		
Laje 1	Beta 20	650	43,0	4,0	20	10,0	2,0	2,72	0,7	0,0	3		
Laje 2	Beta 20	685	43,0	4,0	20	10,0	2,0	2,72	0,7	0,0	3		
Laje 3	Beta 20	695	43,0	4,0	20	10,0	2,0	2,72	0,7	0,0	3		
Laje 4	Beta 20	650	43,0	4,0	20	10,0	2,0	2,72	0,7	0,0	3		
Laje 5	Beta 20	685	43,0	4,0	20	10,0	2,0	2,72	0,7	0,0	3		
Laje 6	Beta 20	695	43,0	4,0	20	10,0	2,0	2,72	0,7	0,0	3		

Fonte: Prof. M. Sc. Antônio de Faria.

Para o cálculo das armaduras inferiores e superiores das lajes conforme tabela 35 e 36, foram utilizadas as seguintes formulas:

$$q_{\text{nervura}} \text{ (KN/m)} = \text{Peso total} \cdot (bf/100)$$

$$M \text{ (KN} \cdot \text{cm/nerv.)} = q_{\text{nervura}} \cdot L$$

$$K_{md} = 1,4 \cdot M / bf / (h - d')^2 / F_{cd}$$

$$K_x = \text{tabela 01}$$

$$K_z = \text{tabela 01}$$

$$Y \text{ (cm)} = 0,8 \cdot K_x \cdot (h - d')$$

LN = Linha Neutra

Para verificação da Linha Neutra, a altura de y (cm) deve ser menor ou igual a altura de hf (cm), para esse caso a LN está ok, caso contrario recalcular, podendo adotar outro elemento de enchimento (neste projeto, a lajota cerâmica) com he (cm) maior.

$$As \text{ (cm}^2\text{/nerv.)} = 1,4 \cdot M / Kz / (h - d') / Aço \text{ CA} \cdot 1,15$$

Tabela 35: Cálculo das armaduras inferiores das lajes.

Armadura Inferior												
Laje	Tipo	$q_{nervura}$ (kN/m)	M (kN.cm/nerv)	$k_{m,d}$	k_c	k_s	y (cm)	Verificação LN	A_s (cm ² /nervura)	$\phi_{nervura}$ (mm)	$A_{s,compl}$ (cm ² /nervura)	
Laje 1	Beta 20	2,76	1458,69	0,082	0,127	0,949	1,831	ok	2,29	6,0	1,73	369,5
Laje 2	Beta 20	2,76	1620,01	0,091	0,142	0,943	2,047	ok	2,56	6,0	2,00	369,5
Laje 3	Beta 20	2,76	1667,66	0,094	0,147	0,941	2,111	ok	2,64	6,0	2,08	369,5
Laje 4	Beta 20	2,76	1458,69	0,082	0,127	0,949	1,831	ok	2,29	6,0	1,73	369,5
Laje 5	Beta 20	2,76	1620,01	0,091	0,142	0,943	2,047	ok	2,56	6,0	2,00	369,5
Laje 6	Beta 20	2,76	1667,66	0,094	0,147	0,941	2,111	ok	2,64	6,0	2,08	369,5

Fonte: Prof. M. Sc. Antônio de Faria.

Tabela 36: Cálculo das armaduras superiores das lajes.

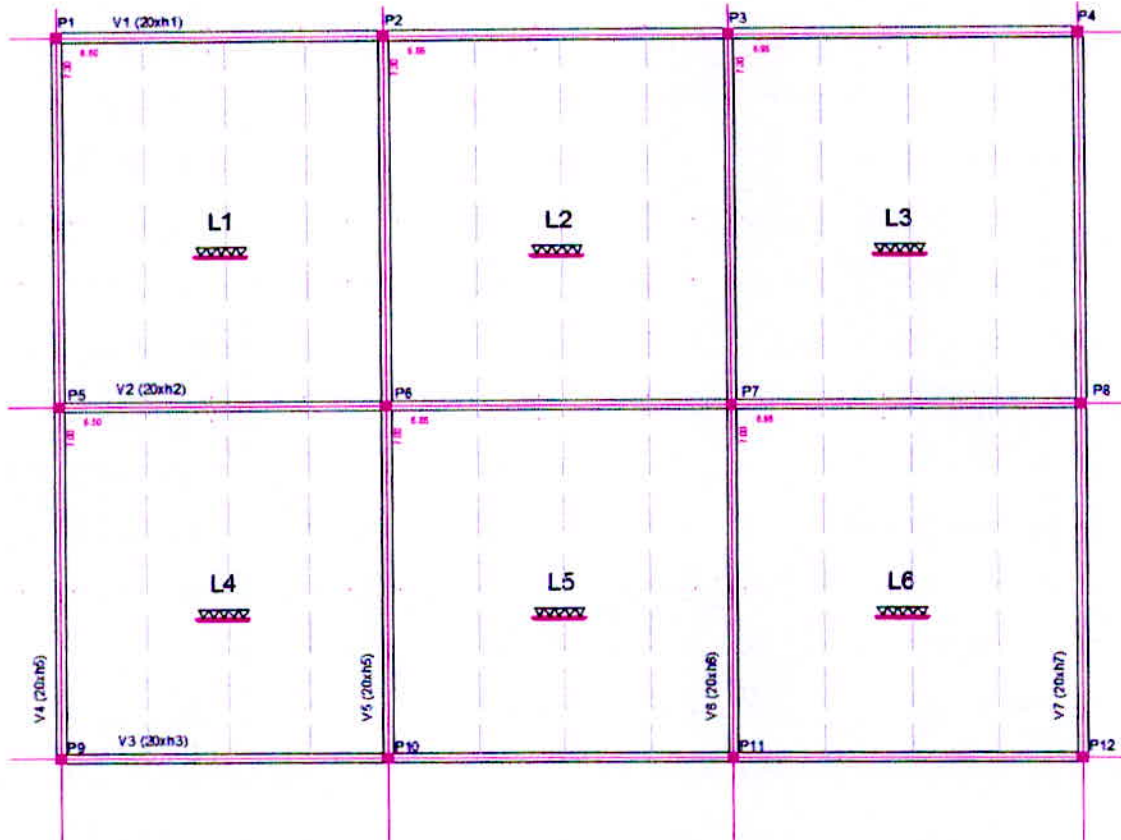
Armadura Superior												
Laje	Tipo	$q_{nervura}$ (kN/m)	M (kN.cm/nerv)	$k_{m,d}$	k_c	k_s	y (cm)	Verificação LN	A_s (cm ² /nervura)	$\phi_{nervura}$ (mm)	$A_{s,compl}$ (cm ² /nervura)	
Laje 1	Beta 20	2,76	243,12	0,059	0,090	0,964	1,292	ok	0,38	7,0		0,00
Laje 2	Beta 20	2,76	270,00	0,065	0,100	0,960	1,441	ok	0,42	7,0		0,00
Laje 3	Beta 20	2,76	277,94	0,067	0,103	0,959	1,486	ok	0,43	7,0		0,00
Laje 4	Beta 20	2,76	243,12	0,059	0,090	0,964	1,292	ok	0,38	7,0		0,00
Laje 5	Beta 20	2,76	270,00	0,065	0,100	0,960	1,441	ok	0,42	7,0		0,00
Laje 6	Beta 20	2,76	277,94	0,067	0,103	0,959	1,486	ok	0,43	7,0		0,00

Fonte: Prof. M. Sc. Antônio de Faria.

Na NBR 14859-1:2002, item 3.1.3, é admitida a armadura longitudinal complementar apenas em lajes treliçadas, quando houver impossibilidade de ser colocada na vigota treliçada toda a armadura passiva inferior de tração necessária.

Ainda segundo a NBR 14859-1:2002, item 3.1.3, deve ser colocada uma armadura de distribuição posicionada na capa, nas direções transversal e longitudinal, para a distribuição das tensões oriundas de cargas concentradas e para o controle da fissuração. Conforme o item 5.6, essa armadura deve ter seção de no mínimo 0,6 cm²/m para aços CA-50, CA-60 e tela soldada, contendo três barras por metro pelo menos. Será utilizada a tela soldada Q 92.

10.9. DETALHAMENTO: LAJE NERVURADA PRÉ-MOLDADA



Sem Escala

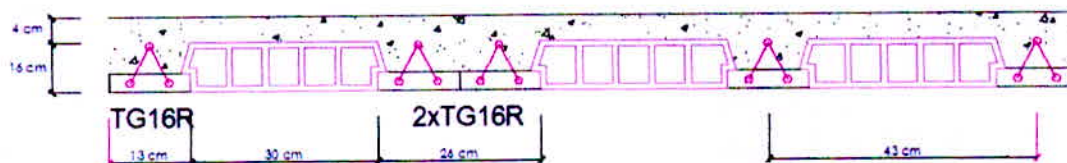
Legenda:

	Sentido de Armação das Treliças
BETA 20 = TR 16 + 4 cm de capa	
	Linhas de Escoramentos

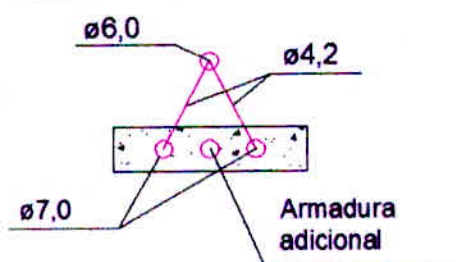
Figura 22 – Detalhamento das lajes nervuradas pré-moldadas do projeto.

LAJE

- MATERIAL DE ENCHIMENTO: CERÂMICA H= 16CM
- INTEREIXO DOS ENCHIMENTOS= 43CM
- VIGOTA MODELO: TG 16R, DESIGNAÇÃO: TR 16746



-TG 20R



DESENHOS S/ ESCALAS

Tabela de características de lajes de vigotas

LAJE DE VIGOTAS IN SITU

Altura do bloco: 16 cm
 Espessura camada de compressão: 4 cm
 Entre-eixos: 43 cm
 Largura da nervura: 13 cm
 Bloco/Molde: Lajota Cerâmica 16+4=20
 Peso próprio: 2.72 kN/m²

Figura 23 – Detalhamento das treliças das lajes nervuradas pré-moldadas do projeto.

Tabela 37: Características das lajes.

LAJE	SENT. MONT	QUANT	CONTRA FLECHA(cm)	LINHA ESCORA ESPAÇAMENTO MAXIMO(cm)
V1	6.50	18	1,0	3 = 1.62
V2	6.85	18	1,0	3 = 1.71
V3	6.95	18	1,0	3 = 1.73
V4	6.50	17	1,0	3 = 1.62
V5	6.85	17	1,0	3 = 1.71
V6	6.95	17	1,0	3 = 1.73

11. COMPARATIVO E QUANTITATIVO DE MATERIAIS DAS LAJES DO PROJETO

Durante a execução do projeto foi seguida uma sequência de cálculo. Os resultados obtidos foram coletados e dispostos em tabelas e figuras que serão exibidas e analisadas.

A tabela 38 apresenta o quantitativo final dos materiais para cada tipo de laje, com uma área total de 290,30 m².

Tabela 38: Quantitativo de materiais das lajes.

Quantitativo de materiais das Lajes					
Laje	Materiais				
	Concreto Usinado 25 Mpa (m ³)	Aço (Kg)	Forma em polipropileno (Unid.)	Lajota cerâmica (Unid.)	Maderite 1,10 x 2,20 (Unid.)
Nervurada Moldada "in loco"	32	2415	560	-	-
Nervurada Pré Moldada	27	1953	-	3375	-
Maciça	47	4445	-	-	130

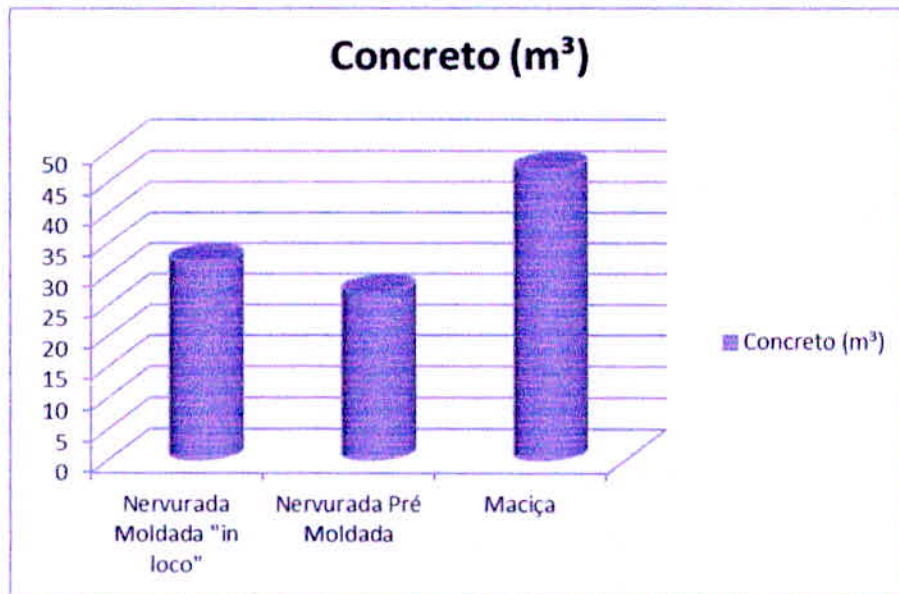


Figura 24 – Comparativo de consumo de concreto (m³) em cada Sistema Estrutural.

Para análise dos resultados das lajes, deve ser ressaltado que foi utilizado apenas um tipo de concreto, o C-25. Tal fator influencia diretamente no consumo de aço.

A tabela 39 apresenta o consumo de concreto e aço das lajes deste projeto, com uma relação de consumo de material e área construída. Pode-se observar que o consumo de material é mais elevado nas lajes maciças, isto devido às dimensões da laje que variam de 6,50 a 7,30 m e ao seu peso próprio ser alto (por ser um elemento estrutural maciço) comparando-se com as demais.

Tabela 39: Comparativo entre lajes.

Comparativo entre Lajes					
Laje	Consumo de material			Relação entre consumo de material e área construída	
	Área das lajes (m ²)	Concreto (m ³)	Aço (Kg)	Concreto (m ³ /m ²)	Aço (Kg/m ²)
Nervurada Moldada "in loco"	290,30	32	2415	0,110	8,32
Nervurada Pré Moldada		27	1953	0,093	6,73
Maciça		47	4445	0,162	15,31

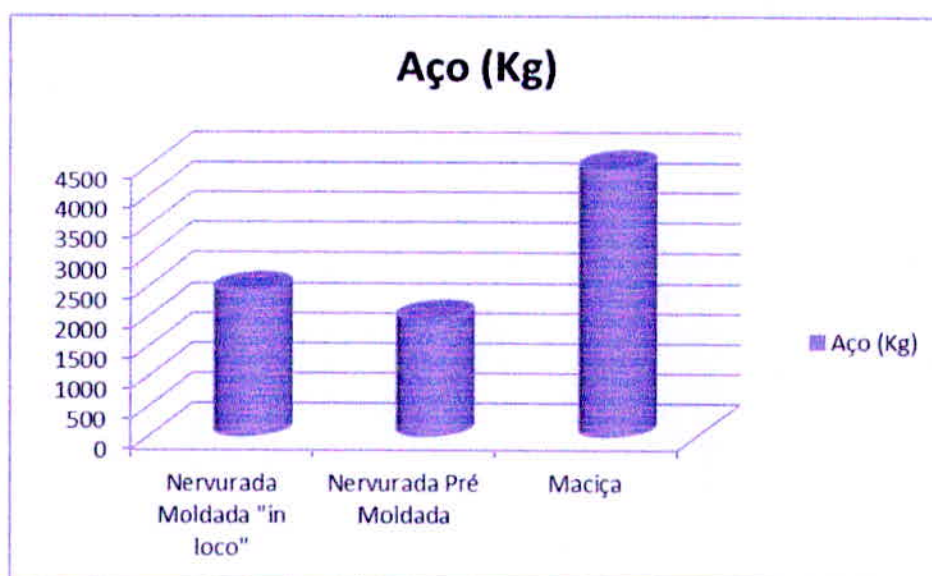


Figura 25 – Comparativo de consumo de aço (Kg) em cada Sistema Estrutural.

As Lajes Nervuradas Pré-Moldada teve os menores índices em relação à laje maciça, tal fator está relacionado às dimensões da laje e devido ao seu peso próprio ser baixo.

12. COMPARATIVO DOS INDICADORES

Para um estudo e comparação dos indicadores encontrados das lajes, como referência foi utilizada uma dissertação apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos, da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Estruturas do autor Augusto Teixeira de Albuquerque, que será apresentada nas tabelas 40, 41, 42, 43 e 44.

A tabela 40 apresenta as dimensões das lajes de um pavimento-tipo, onde a área média destas lajes é de 9,41 m². A sobrecarga considerada para dimensionamento destas lajes foi de 1,50 KN/m².

Tabela 40: Lajes pavimento-tipo residencial.

Lajes: Pavimento-tipo do Condomínio Costa Marina - 20 pavimentos tipo - Residencial					
Área total (m ²):	4200				
Local	Dimensões lajes (m x m)		Área (m ²)	Média de área (m ²)	Sobrecarga (KN/m ²)
Quarto Casal	2,85	6,95	19,81	9,41	1,50
Quarto	2,70	3,00	8,10		
W.C.	1,20	2,20	2,64		
Q. Empregado	2,50	3,00	7,50		
W.C.	1,30	2,50	3,25		
Quarto	2,50	3,00	7,50		
Estar/jantar	2,95	5,95	17,55		
Cozinha	2,15	5,50	11,83		
Varanda	2,20	2,95	6,49		

Fonte: Dissertação do Mestre em Engenharia Augusto Teixeira de Albuquerque apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos.

A tabela 41 apresenta as dimensões das lajes do pavimento comercial, onde a área média destas lajes é de 48,38 m². A sobrecarga considerada para dimensionamento destas lajes foi de 3,00 KN/m².

Tabela 41: Lajes pavimento comercial.

Lajes: Pavimento Comercial					
Área total (m ²):	290,29				
Laje	Dimensões lajes (m x m)		Área (m ²)	Média de área (m ²)	Sobrecarga (KN/m ²)
L1	6,50	7,30	47,45	48,38	3,00
L2	6,85	7,30	50,01		
L3	6,95	7,30	50,74		
L4	6,50	7,00	45,50		
L5	6,85	7,00	47,95		
L6	6,95	7,00	48,65		

A tabela 42 apresenta o consumo de material das lajes maciças, Nervurada molda "in loco" e Nervurada pré-moldada do pavimento tipo.

Tabela 42: Consumo de material – Lajes: Pavimento-tipo: Residencial.

Consumo de materiais		
Material:	Concreto (m³)	Aço (Kg)
Laje maciça	366	18389
Laje Nervurada Moldada "in loco"	326	14704
Laje Nervurada Pré-moldada	337	12620

Fonte: Dissertação do Mestre em Engenharia Augusto Teixeira de Albuquerque apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos.

A tabela 43 apresenta o consumo de material das lajes maciças, Nervurada molda "in loco" e Nervurada pré-moldada do pavimento comercial.

Tabela 43: Consumo de material – Lajes: Pavimento: Comercial.

Consumo de materiais		
Material:	Concreto (m³)	Aço (Kg)
Laje maciça	47	4445
Laje Nervurada Moldada "in loco"	32	2415
Laje Nervurada Pré-moldada	27	1953

A tabela 44 apresenta o comparativo de taxa de armadura (Kg de aço/m³ de concreto) e concreto/área (m³ de concreto/m² de área), logo se observa que as lajes do pavimento comercial são as que têm maior consumo de materiais, isto devido ao carregamento mais elevado, as maiores dimensões das lajes com influência direta a altura útil da laje, logo aumentando o seu peso próprio.

A laje maciça foi à laje com o maior consumo de aço e concreto tanto para o pavimento residencial como para o pavimento comercial, podendo destacar o alto consumo de material no pavimento comercial, como já dito, isso devido às dimensões de vão livre, a sobrecarga e ao seu próprio peso.

As lajes nervuradas pré-moldada obtiveram os menores índices de consumo, podendo ser a mais ideal para os projetos apresentados neste trabalho (comercial e residencial), sem considerar o custo de mão-de-obra para execução das mesmas.

Tabela 44: Comparativo - Indicadores.

INDICADORES				
	TAXA DE ARMADURA (Kg de aço/m³ de concreto)		CONCRETO / ÁREA (m³ de concreto/m² de área)	
	Residencial	Comercial	Residencial	Comercial
Laje maciça	50,24	94,57	0,087	0,162
Laje Nervurada Moldada "in loco"	45,10	75,47	0,078	0,110
Laje Nervurada Pré-moldada	37,45	72,33	0,080	0,093

13. CONCLUSÕES

O conteúdo apresentado teve como principal objetivo comparar três tipos de lajes (maciça, nervurada moldada “in loco” e nervurada pré-moldada) no quantitativo de materiais, dimensionamento e detalhamento das lajes de um pavimento comercial.

Após estabelecer os indicadores de cada laje foi comparado com os indicadores das lajes da dissertação do Mestre em Engenharia Augusto Teixeira de Albuquerque, nota-se que o resultado obtido segue uma coerência e no geral foi satisfatório. Contudo, ainda foi possível apontar as causas que levaram os indicadores do pavimento comercial serem mais elevados.

Obter parâmetros comparativos e índices que apontam um padrão no consumo de materiais na construção civil é de suma importância para ter uma orientação, a fim de apontar discrepâncias que possam interferir no custo final da obra e aperfeiçoar o serviço prestado. Os valores encontrados e dispostos em tabelas poderão futuramente auxiliar em trabalhos acadêmicos ou profissionais como fonte de pesquisa. Vale salientar que todos os cálculos e dimensionamentos seguidos estão previstos na NBR 6118/2003.

Cada sistema estrutural deve ser convenientemente estudado a fim de adaptá-lo, as condições locais, regionais de viabilidade técnica, econômica e comercial, logo qualquer uma das lajes pode ser utilizada em edificações residenciais e comerciais, cabendo ao arquiteto e ao calculista determinar a melhor solução para cada caso.

14. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Projeto de Estruturas de Concreto – Procedimentos** (NBR 6118). Rio de Janeiro: ABNT, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Barras e fios de aço destinados a armaduras para concreto armado** (NBR 7480). Rio de Janeiro: ABNT, 1996.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Cargas para o cálculo de estruturas de edificações** (NBR 6120). Rio de Janeiro : ABNT.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Laje pré-fabricada – Pré-laje – Requisitos - Parte 1: Lajes unidirecionais** (NBR 14860-1). Rio de Janeiro : ABNT.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Laje pré-fabricada – Pré-laje – Requisitos - Parte 2: Lajes bidirecionais** (NBR 14860-2). Rio de Janeiro : ABNT.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Laje pré-fabricada – Requisitos - Parte 1: Lajes unidirecionais** (NBR 14859-1). Rio de Janeiro : ABNT.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Laje pré-fabricada – Requisitos - Parte 2: Lajes bidirecionais** (NBR 14859-2). Rio de Janeiro : ABNT.

CARVALHO, R. C.; FILHO, J. R. F. **Cálculo e detalhamento de estruturas usuais de concreto armado**. 3ª ed. EdUFScar – Editora da Universidade Federal de São Carlos, São Carlos/SP, 2012.

CARVALHO, Roberto Chust; PINHEIRO, Libânio Miranda. **Cálculo e detalhamento de estruturas usuais de concreto armado**. Volume 2. Editora PINI, 2009.

[http: www.aecweb.com.br](http://www.aecweb.com.br)

[http: betim.olx.com.br](http://betim.olx.com.br)

[http: www.ufrgs.br](http://www.ufrgs.br)

[http: www.concretousinado.com.br](http://www.concretousinado.com.br)

[http: www.artefatos-aco-concreto.com.br](http://www.artefatos-aco-concreto.com.br)

[http: www.rotomixbrasil.com.br](http://www.rotomixbrasil.com.br)

[http: www.madecaus.com.br](http://www.madecaus.com.br)

[http: www.proobra.com.br](http://www.proobra.com.br)

[http: www.belgo.com.br](http://www.belgo.com.br)

[http: www.atex.com.br/produtos](http://www.atex.com.br/produtos)

[http: www.engeferferragens.com.br/trelicas](http://www.engeferferragens.com.br/trelicas)