



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
CENTRO MULTIDISCIPLINAR DE PAU DOS FERROS
BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

RHUAM ARAUJO AMORIM

ESTUDO PARAMÉTRICO DOS TIPOS DE LAJES USUAIS E MÉTODOS DE ANÁLISE

PAU DOS FERROS – RN

2021

RHUAM ARAUJO AMORIM

**ESTUDO PARAMÉTRICO DOS TIPOS DE LAJES USUAIS E MÉTODOS DE
ANÁLISE**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao Curso Superior de Bacharelado em
Engenharia Civil, da Universidade Federal
Rural do Semi-Árido - UFERSA, Campus Pau
dos Ferros, para a obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Leonardo Henrique
Borges De Oliveira – UFERSA

PAU DOS FERROS – RN

2021

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tornar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

A524e AMORIM, RHUAM ARAUJO.
ESTUDO PARAMÉTRICO DOS TIPOS DE LAJES USUAIS E
MÉTODOS DE ANÁLISE / RHUAM ARAUJO AMORIM. - 2021.
71 f. : il.

Orientador: LEONARDO HENRIQUE BORGES DE
OLIVEIRA.
Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de Engenharia Civil,
2021.

1. Momento fletor. 2. Lajes Maciças. 3. Método
de Bares. 4. Analogia a grelha. I. OLIVEIRA,
LEONARDO HENRIQUE BORGES DE, orient. II. Título.

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

RHUAM ARAUJO AMORIM

**ESTUDO PARAMÉTRICO DOS TIPOS DE LAJES USUAIS E MÉTODOS DE
ANÁLISE**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao Curso Superior de Bacharelado em
Engenharia Civil, da Universidade Federal
Rural do Semi-Árido - UFERSA, Campus Pau
dos Ferros, para a obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Civil.

DATA DA APROVAÇÃO: 05/11/2021

BANCA EXAMINADORA

**LEONARDO HENRIQUE
BORGES DE OLIVEIRA**
08219316446

Assinado digitalmente por LEONARDO HENRIQUE BORGES DE
OLIVEIRA:08219316446
DN: CN=LEONARDO HENRIQUE BORGES DE OLIVEIRA:
08219316446, OU=UFERSA - Universidade Federal Rural do
Semi-Árido, O=ICPEdu, C=BR
Razão: Eu estou de acordo com o documento.
Localização: Pau dos Ferros/RN
Data: 2021.11.09 08:40:58-03'00'
Foxit Reader Versão: 10.1.1

Prof. Dr. Leonardo Henrique Borges de Oliveira

Presidente

**Paulo Henrique
Araújo Bezerra**

Digitally signed by Paulo
Henrique Araújo Bezerra
Date: 2021.11.08 22:17:57
-03'00'

Prof. Dr. Paulo Henrique Araújo Bezerra

Primeiro Membro

Gustavo H. P. Cavalcante

Prof. Ms. Gustavo Henrique Ferreira Cavalcante

Segundo Membro

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por te me guiado durante toda minha jornada universitária e também em toda minha vida.

Agradeço aos meus Pais por terem dado todo o suporte durante toda a minha vida, e claro, nessa fase não seria diferente.

Agradeço minha mãe por ter acreditado e apoiado, em todas as minhas escolhas, mesmo algumas sendo bem difíceis.

Agradeço ao meu Pai, que nunca deixou faltar nada durante esse período, período onde vivi, longe de todos os meus familiares e que foi bastante duro.

Agradeço a todos os meus amigos que fiz durante essa fase universitária, com certeza levaria muitos para a vida, amizades que seguirão unidas por muito tempo.

Agradeço a cada Docente que pode contribuir para que este momento possa estar acontecendo. Em especial agradeço ao meu orientador, o Prof. Dr. Leonardo Henrique Borges De Oliveira, que desde o princípio acreditou em mim, e me deu a oportunidade de escrever um trabalho muito bem elaborado e com um tema muito importante. Além disso, o professor Leonardo sempre passou muita confiança e compreensão para mim, sem sombras de dúvidas, foi o grande responsável por eu ter conseguido concluir o trabalho, sempre serei grato por seus gestos de compreensão.

Agradeço também a todo o corpo Docente, discente, colaboradores, terceirizados e entre outros, que compõem a família UFERSA Pau dos Ferros, um lugar incrível e muito acolhedor, onde pude viver uma das melhores fases da minha vida, agradeço a todos que puderam contribuir de forma direta e indireta para este momento.

RESUMO

Sabendo da importância dos projetos complementares para o bom desenvolvimento das edificações, este trabalho mostra a importância também do projeto estrutural, onde o mesmo gera em torno de 15 a 20% do valor total da obra. Os elementos estruturais básicos de uma edificação, constituem basicamente de lajes, vigas, pilares e fundações. Dentro desse sistema, as lajes transmitem os esforços para as vigas, que direcionam os esforços para os pilares, que levam até as fundações. Como objetivo, o trabalho visa, estudar os tipos de lajes (Maciças, nervuradas e treliçadas), juntamente com os tipos de modelos analíticos do software TQS V 22.6. ® (versão estudante), levando em consideração os parâmetros quanto ao deslocamento e momento fletor. Além disso também avaliar o comportamento de lajes maciças, a partir de diferentes geometrias, esse comportamento será comparado com os outros tipos de lajes (Nervuradas, treliçadas). Para realizar essa comparação será utilizada dois métodos, que são Analogia a Grelha (TQS 22.6. ® versão estudante) e método de Bares. Aplicando a metodologia de cada método foi possível obter os resultados para cada tipo de laje. Como já esperado, as lajes maciças foram os modelos que obtiveram os maiores momentos fletores positivos, comparados as lajes nervuradas e treliçadas, além disso os deslocamentos para os modelos das lajes maciças sem encontraram dentro do estágio I, ou seja, não fissurando. O comparativo dos deslocamentos pelos dois métodos, observou-se que pelo método de analogia a grelha, os deslocamentos foram superiores ao método de Bares, isso acontece pelo fato de que o software considerar o deslocamento nos apoios, o que faz gerar flechas superiores.

Palavras – chaves: Momento fletor, Lajes Maciças, Método de Bares, Analogia a grelha.

ABSTRACT

From the importance of complementary designs for the good development of buildings, this work aims to show the importance of the structural designs, where it generates around 15 to 20% of the total value of the building. The basic structural elements of a building basically consist of slabs, beams, columns and foundations. Within this system, the slabs transfer the efforts to the beams, then to the columns, which lead to the foundations. This work aims to study the types of slabs (two-way flat slab, ribbed and lattice), together with the types of analytical models of the TQS V 22.6 software ® (student version), considering the parameters for displacement and bending moment. In addition, also evaluating the behavior of two-way flat slabs, from different geometries, this behavior will be compared with other types of slabs (Ribbed, and lattice). Two methods will be used, which are Analogy to Grid (TQS 22.6. ® student version) and Analogy to plate Bares Method. Applying the methodology of each method it was possible to obtain the results for each type of slab. As expected, the Two-way slabs were the models that obtained the highest positive bending moments, compared to the ribbed and lattice slabs, in addition to presents higher displacements in comparison to the Bares Method (plate analogy). From the results of displacements, the grid analogy method, the displacements were superior to the Bares method, this could be observed because the Analogy of Grid considers the displacement of the beams while the Bares Method not considers the displacement in the supports.

Key words: Bending Moment, Solid Slabs, Bares Method, Analogy of grid.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Vãos efetivos.....	14
Figura 2: Modelo de Lajes Maciças	15
Figura 3: Modelo de Laje Nervurada.	16
Figura 4: Modelo Laje Nervurada sem preenchimento.	17
Figura 5: Disposição das cubetas em uma laje nervurada.	17
Figura 6: Laje Treliçada com preenchimento de EPS.	18
Figura 7: Treliça Pré-moldada.	19
Figura 8: Aplicação do bloco de EPS em lajes treliçadas.	20
Figura 9: Analogia da grelha desenvolvida pelo TQS.....	23
Figura 10: Vinculação das bordas das lajes.....	24
Figura 11: Seção de concreto armado e seus estádios de deformação.	31
Figura 12: Fluxograma do trabalho.	33
Figura 13: Planta representativa da Laje Maciça $l_y \times l_x$ desenvolvida pelo software TQS....	35
Figura 14: Planta representativa da Laje Nervurada $l_y \times l_x$ desenvolvida pelo software TQS.	36
Figura 15: Planta representativa da Laje Treliçada $l_y \times l_x$ desenvolvida pelo software TQS.	36
Figura 16: Laje maciça (L1) 3 x 3 m.	37
Figura 17: Laje maciça (L2) 4 x 3 m.	38
Figura 18: Laje maciça (L3) 5 x 3 m.	38
Figura 19: Laje maciça (L4) 6 x 3 m.	39
Figura 20: Distância da grelha formada para lajes Maciças.	42
Figura 21: Momento fletor da Laje maciça L1 3x3 m, desenvolvida no TQS.	43
Figura 22: Momento fletor da Laje maciça L2 4x3 m, desenvolvida no TQS.	43
Figura 23: Momento fletor da Laje maciça L3 5x3 m, desenvolvida no TQS.	44
Figura 24: Momento fletor da Laje maciça L4 6x3 m, desenvolvida no TQS.	44
Figura 25: Deslocamento referente a laje maciça L1 3 x 3 m.	51
Figura 26: Deslocamento referente a laje maciça L2 4 x 3 m.	51
Figura 27: Deslocamento referente a laje maciça L3 5 x 3 m.	52
Figura 28: Deslocamento referente a laje maciça L4 6 x 3 m.	52
Figura 29: Carga referente ao peso próprio dos modelos das lajes nervuradas.....	53
Figura 30: Dimensões da grelha formada para os modelos das lajes nervuradas.....	55
Figura 31: Momento fletor em um modelo de laje nervurada pelo TQS.	55

Figura 32: Peso próprio das lajes treliçadas.	56
Figura 33: Momento fletor obtido através do TQS para modelo 3 x 3 m da laje treliçada.	58
Figura 34: Comparativo dos momentos fletores dos modelos pela sua relação l_y/l_x	59
Figura 35: Curva deslocamento x l_y/l_x dos modelos de lajes maciças.	63

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Tabela de classe de agressividade da NBR 6118:2014.	21
Tabela 2: Correlação de classe de agressividade e cobrimento para concreto armado e protendido da ABNT NBR 6118:2014.	22
Tabela 3: Valores dos coeficientes γ_n para os pilares.	34
Tabela 4: Tabela das informações dos tipos de vínculos e dimensões das lajes maciças.	37
Tabela 5: Valores das cargas atuantes nas lajes maciças.	39
Tabela 6: Peso específico aparente do Concreto armado em kN/m^3	40
Tabela 7: Peso específico aparente dos revestimentos.	40
Tabela 8: Carga acidental para salas, dormitórios, banheiros.	41
Tabela 9: Momentos fletores para lajes maciças.	42
Tabela 10: Momento fletor das lajes pelo método de Bares (1972) e pelo TQS.	45
Tabela 11: Estádio em que os modelos de lajes maciças atuam.	48
Tabela 12: Parâmetro α para determinar a flecha imediata.	49
Tabela 13: Flecha Imediata, a partir da carga da combinação quase permanente.	50
Tabela 14: Flecha total atuante nos modelos das lajes maciças.	50
Tabela 15: Flechas obtidas pelo software TQS, correspondentes dos modelos das lajes maciças.	52
Tabela 16: Levantamento das cargas atuantes nos modelos das lajes nervuradas.	54
Tabela 17: Momentos fletores dos modelos das lajes nervuradas por Bares (1972).	54
Tabela 18: Comparação dos momentos fletores obtidos pelos métodos de Bares (1972) e TQS.	56
Tabela 19: Levantamento de cargas atuantes nos modelos das lajes treliçadas.	57
Tabela 20: Momentos fletores dos modelos das lajes treliçadas por Bares (1972).	58
Tabela 21: Comparação dos momentos fletores a partir dos métodos de Bares (1972) e TQS.	59
Tabela 22: Valores comparativos dos modelos de lajes maciças, em porcentagem.	61

Tabela 23: Valor comparativo dos modelos desenvolvidos em porcentagem.....	62
Tabela 24: Comparativos dos modelos das lajes treliçadas em porcentagem.	63
Tabela 25: Comparativos dos resultados obtidos para as flechas das lajes maciças, em porcentagem.....	64
Tabela 26: Tabela desenvolvida por Bares (1972).	68
Tabela 27: Continuação da tabela de Bares (1972).	69
Tabela 28: Continuação da tabela de Bares (1972).	70
Tabela 29: Tabela desenvolvida por Bares (1972), para cálculo das flechas em lajes.....	71

LISTA DE SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

Ac – Acidental

CA – Concreto Armado

ELS – Estado Limite de Serviço

ELU – Estado Limite Último

EPS – Poliestireno Expandido

NBR – Norma Brasileira

Pp – Peso Próprio

Rev – Revestimento

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	12
2. OBJETIVOS	13
3. REFERENCIAL TEÓRICA.....	14
3.1 LAJES DE CONCRETO ARMADO	14
3.1.1 Classificação quanto à Direção.....	14
3.1.2 Lajes Maciças.....	15
3.1.3 Lajes Nervuradas.....	16
3.1.3.1 Material de Enchimento (Cubetas)	17
3.1.4 Lajes Treliçadas.....	18
3.1.4.1 Material de Enchimento (Bloco de EPS).....	19
3.1.5 Sistema de Lajes.....	20
3.1.6 Pré-dimensionamento de Lajes	21
3.2 MÉTODOS DE ANÁLISES ADOTADOS	22
3.2.1 Método de Análise do TQS (Analogia a Grelha)	22
3.2.2 Método de Bares (1972)(Analogia a Placas)	23
3.3 ESTADOS LIMITES	25
3.3.1 Estado Limite Último	25
3.3.2 Estado Limite de Serviço	26
3.4 COMBINAÇÕES DE AÇÕES.....	26
3.4.1 Combinações Últimas.....	26
3.4.1.1 Combinações Últimas Normais	26
3.4.1.2 Combinações Últimas Especiais ou de Construção.....	27
3.4.1.3 Combinações Últimas Excepcionais	27
3.4.2 Combinações de Serviço.....	27
3.4.2.1 Classificação.....	27
3.4.2.2 Fator de Redução para combinações quase permanentes	28
3.5 VERIFICAÇÃO DOS DESLOCAMENTOS	29
3.5.1 Atuação da Fluência na Flecha diferida no tempo	29
3.5.2 Momento de Fissuração de Elementos em Concreto.....	30
3.6 ESTÁDIOS DE COMPORTAMENTO DO CONCRETO ARMADO	30
3.7 MÓDULO DE ELASTICIDADE	32
4. METODOLOGIA.....	33
4.1 CARACTERÍSTICAS DOS MODELOS	34
5. RESUTADOS E DISCURSSÕES	37
5.1 LAJES MACIÇAS	37
5.1.1 Cargas atuantes nas Lajes Maciças	39

5.1.2 Apresentação dos resultados de momento fletor pelos métodos estudados.	41
5.1.3 Deslocamento Método de Bares (1972) para lajes Maciças	45
5.1.3.1 Carga atuante nas Lajes maciças	45
5.1.3.2 Combinação Quase Permanente para lajes maciças	45
5.1.3.3 Modulo de Elasticidade Secante para lajes maciças.....	46
5.1.3.4 Consideração da fluência nos deslocamentos para o modelo de bares.....	49
5.1.4 Deslocamento pelo método TQS para os modelos das lajes maciças.....	51
5.2 LAJES NERVURADAS	53
5.2.1 Carga atuante nas Lajes Nervuradas	53
5.2.2 Momento Fletor pelo método de BARES (1972) E TQS para os modelos das lajes nervuradas.....	54
5.3 LAJES TRELIÇADAS.....	56
5.3.1 Carga atuante nas Lajes Trelaçadas.....	56
5.3.2 Momento Fletor método de BARES (1972) e TQS para lajes trelaçadas	57
5.4 COMPARAÇÃO DOS MOMENTOS FLETORES DOS MODELOS	59
5.5 COMPARAÇÃO DOS DESLOCAMENTOS DOS MODELOS DAS LAJES MACIÇAS	63
6. CONCLUSÕES.....	65
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	67
ANEXO A – TABELAS DE BARES PARA MOMENTOS FLETORES EM LAJES.....	68
ANEXO B – TABELA DE BARES PARA CALCULO DE FLECHAS EM LAJES	71

1. INTRODUÇÃO

Segundo Costa (1997) apud Moraes (2020) de 15 % a 20% do valor total de uma edificação gira em torno do projeto estrutural, juntamente com a aquisição dos materiais e execução dos serviços relacionados a estrutura. Isso evidencia o impacto que um projeto bem elaborado traz para uma obra, gerando economia.

Quando se refere a obras de concreto armado, normalmente os elementos estruturais que constituem um sistema estrutural se dá por lajes, vigas, pilares. Neste sistema, os esforços atuantes nas lajes são transmitidos para as vigas, que, por sua vez, tem como função transmitir os mesmos esforços para os pilares, que lançam para a fundação esses esforços. (OLIVEIRA et al., 2020).

Em um projeto estrutural, todos os elementos são importantes e fundamentais, o dimensionamento adequado para esses elementos traz redução nos custos da obra. Dentre esses, a laje é que tem maior potencial para reduzir estes custos, pois é o elemento do sistema estrutural que mais consome volume de concreto. (MORAES, 2020).

Dentre os diversos tipos de lajes, algumas mais comuns se destacam: lajes maciças, lajes nervuradas e lajes treliçadas.

De acordo com Pinheiro (2007) apud Oliveira et al. (2020), há cerca de trinta anos atrás existiam poucos estudos para quem desejava atuar trabalhando com projetos de lajes pré-moldadas, sem que possuía literatura para nortear e sim muito empirismo.

Com o passar dos anos, as construções civis evoluíram cada vez mais, edifícios verticais que exigem alternativas arquitetônicas cada vez mais complexas, refletindo direto nas estruturas dessas edificações, como por exemplo, grandes vãos, estruturas mais esbeltas, diversos tipos de geometrias, entre outros casos. Esses fatos refletem diretamente em uma solicitação importante para dimensionamento deste tipo de edificações, que é o peso próprio. Sabemos que projetos estruturais, tem como principal função trazer segurança e conforto para a edificação, juntamente com a otimização dos custos, redução de perdas nos materiais e o menor tempo de execução possível. (SOUZA; LOPES, 2016).

E com os avanços tecnológicos na Construção Civil os sistemas construtivos, principalmente de concreto armado geram estruturas cada vez mais econômicas, além de o mercado estar bastante exigente com relação à segurança, qualidade dos materiais, métodos construtivos mais eficientes, que geram mais economia para as obras. (OLIVEIRA et al., 2020).

Com base neste cenário, este estudo se propõe a comparar a atuação dos métodos de cálculo dos esforços e compará-los com os diferentes tipos de lajes comumente previstos nas

edificações, trazendo indicativos relevantes quanto a aplicação dessas novas tecnologias.

2. OBJETIVOS

A seguir são apresentados os objetivos que se pretende atingir com a realização da pesquisa aqui sugerida, de modo geral e também de modo específico:

❖ GERAL

Estudar os tipos de lajes (Maciças, nervuradas e treliçadas), juntamente com os tipos de modelos desenvolvidos no software TQS V 22.6. ® (Versão estudante), levando em consideração os parâmetros quanto ao deslocamento e momento fletor.

❖ ESPECÍFICOS

Avaliar o comportamento de lajes maciças com diferentes geometrias, variando apenas uma de suas medidas, afim de identificar seus parâmetros.

Comparar o comportamento de lajes maciças com lajes nervuradas, ambas com as mesmas dimensões.

Comparar o comportamento de lajes maciças com lajes treliçadas, ambas com as mesmas dimensões.

Comparar os métodos de dimensionamento do software TQS 22.6. ® (Versão estudante) juntamente com a analogia de placas, através das tabelas de bares.

3. REVISÃO TEÓRICA

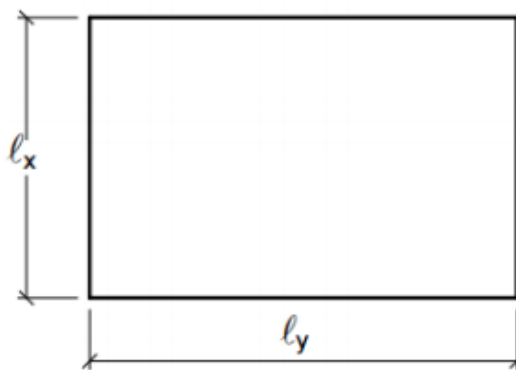
3.1 LAJES DE CONCRETO ARMADO

Lajes são elementos estruturais onde possuem duas dimensões predominantes (comprimento e largura) sobre uma terceira (espessura). Normalmente estes elementos são executados para suportar cargas verticais, que são transmitidas perpendiculares a um plano principal horizontal. Estão solicitadas essencialmente à momentos fletores e forças cortantes decorrentes dessas ações verticais, as lajes também possuem uma função importante no esquema de resistência contra ações horizontais, tendo assim um comportamento de diafragmas rígidos ou de umas chapas. (SILVA, 2005 apud PINHEIRO, 2016).

3.1.1 Classificação quanto à Direção

Segundo Pinheiro (2016), as lajes podem ser classificadas em lajes armada em uma direção (unidirecional) ou lajes armadas em duas direções (bidirecionais). o que define essa classificação é a relação entre o vão efetivo de maior lado (convencionado l_y), sobre o vão efetivo de menor lado (convencionado l_x). Caso essa relação (convencionada λ , ver equação 1) seja menor que 2, é considerada uma laje bidirecional, e caso a relação seja maior que 2, a laje é unidirecional.

Figura 1: Vãos efetivos.



Fonte: Pinheiro (2016).

Onde: l_x = vão efetivo do menor lado; l_y = vão efetivo do maior lado.

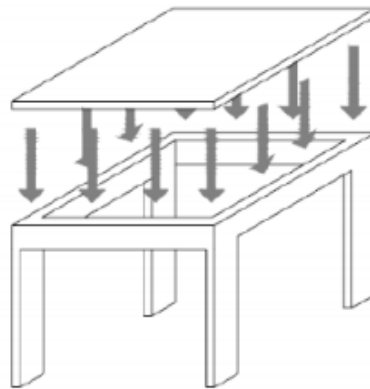
A partir do cálculo dos vãos efetivos considera-se a razão, conforme Equação 1:

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

3.1.2 Lajes Maciças

Segundo Pinheiro (2016), laje maciça é aquela onde toda a espessura é composta por concreto (Figura 2), contendo armaduras longitudinais de flexão e também podendo possuir armaduras transversais, suas bordas geralmente são apoiadas em vigas de contorno. A Figura 2 ilustra esquematicamente a distribuição de cargas das lajes para as vigas.

Figura 2: Modelo de Lajes Maciças



Fonte: Puel (2010) apud Pinheiro (2016).

As lajes maciças têm como principal função a absorção das cargas atuantes sob o piso, onde normalmente apoiam-se sobre as vigas arranjadas em seu perímetro, que transmitem os esforços para os pilares e que transferem essas cargas às fundações. (ARAÚJO, 2008 apud MORAES, 2020).

Segundo Moraes (2020), a execução das lajes maciças permite moldar mais facilmente sua geometria, sustentadas por escoras até que adquiram resistência necessária, sendo assim um dos sistemas mais empregados atualmente, em razão da sua mão de obra qualificada.

Ainda de acordo com Spohr (2008) apud Moraes (2020), lajes maciças não são apropriadas para grandes vãos, onde geralmente sua utilização é para vãos entre 3,5 m e 5 m. Sobre isso, a ABNT NBR 6118:2014 no item 13.2.4.1 impõe os limites mínimos para a espessura das lajes maciças, conforme listados a seguir:

- a) 7 cm para cobertura não em balanço;
- b) 8 cm para lajes de piso não em balanço;
- c) 10 cm para lajes em balanço;

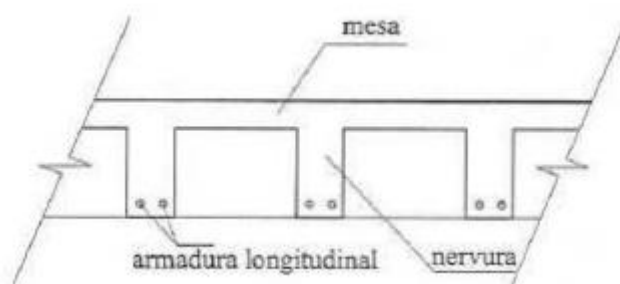
- d) 10 cm para lajes que suportem veículos de peso total menor ou igual a 30 kN;
- e) 12 cm para lajes que suportem veículos de peso total maior que 30 kN;
- f) 15 cm para lajes com protensão apoiadas em vigas, com o mínimo de $l/42$ para lajes de piso biapoiadas e $l/50$ para lajes de piso contínuas;
- g) 16 cm para lajes lisas e 14 cm para lajes-cogumelo, fora do capitel. Onde l é a distância entre os eixos dos elementos estruturais aos quais o pilar está vinculado.

3.1.3 Lajes Nervuradas

De acordo com a NBR 6118:2014 no item 14.7.7, lajes nervuradas são lajes moldadas no local ou com nervuras pré-moldadas, cuja zona de tração para momentos positivos está localizada nas nervuras entre as quais pode ser colocado material inerte.

Segundo Pinheiro (2016), as lajes nervuradas são caracterizadas pelas nervuras que estão localizadas na parte inferior das lajes, possuindo uma mesa superior de concreto, como pode-se observar na Figura 3.

Figura 3: Modelo de Laje Nervurada.

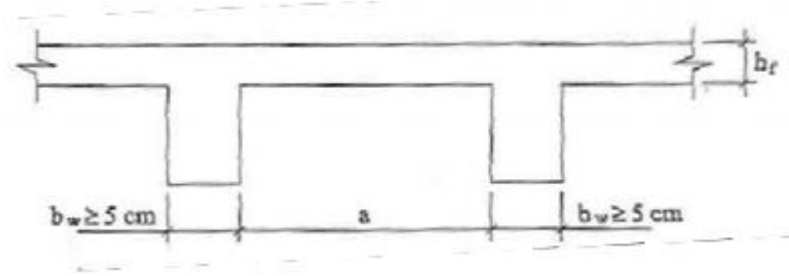


Fonte: Carvalho e Pinheiro (2009) apud Pinheiro (2016).

De acordo com ABNT NBR 6118:2014 os valores mínimos para algumas dimensões das lajes nervuradas são (PINHEIRO, 2016):

- Espessura da mesa (h_f): Quando não houver tubulação embutida deve ser maior que $1/15$ da distância entre as nervuras e não menor que 3 cm;
- Espessura das nervuras (b_w): Não deve ser inferior a 5 cm. Não é permitido o uso de armadura de compressão em nervuras de espessura inferior a 8 cm.
- Espaçamento entre as nervuras: Para lajes com espaçamento entre eixos menor que 65 cm se dispensa a verificação da flexão da mesa.

Figura 4: Modelo Laje Nervurada sem preenchimento.



Fonte: Carvalho e Pinheiro (2009) apud Pinheiro (2016).

3.1.3.1 Material de Enchimento (Cubetas)

As cubetas também podem ser conhecidas como formas reaproveitáveis, onde geralmente podem ser de materiais de polipropileno ou até de metal. Uma das principais vantagens de se utilizar as cubetas, é o vazio que é formada na região onde o concreto estaria sofrendo tração, dessa forma, a laje possui um peso próprio menor, em comparação a uma laje maciça.

Após a execução, as cubetas podem ser retiradas e por meio da injeção de ar comprimido, podendo ser reaproveitadas. (CARVALHO; PINHEIRO, 2009 apud PINHEIRO, 2016). Na Figura 5, apresenta-se o posicionamento das cubetas em uma laje nervurada.

Figura 5: Disposição das cubetas em uma laje nervurada.



Fonte: Cruz, (2021).

3.1.4 Lajes Trelaçadas

De acordo com Moraes (2020), as lajes trelaçadas podem distribuir os esforços em uma ou em duas direções. Segundo a ABNT NBR 14859-2: 2016, as lajes pré-fabricadas bidirecionais, são constituídas por nervuras principais nas duas direções com espaçamentos regulares formando vazios entre si, sendo colocado um material inerte para o preenchimento dos mesmos. A Figura 6 apresenta uma ilustração de uma laje trelaçada unidirecional com elementos inertes de EPS a ser concretada.

Figura 6:Laje Trelaçada com preenchimento de EPS.

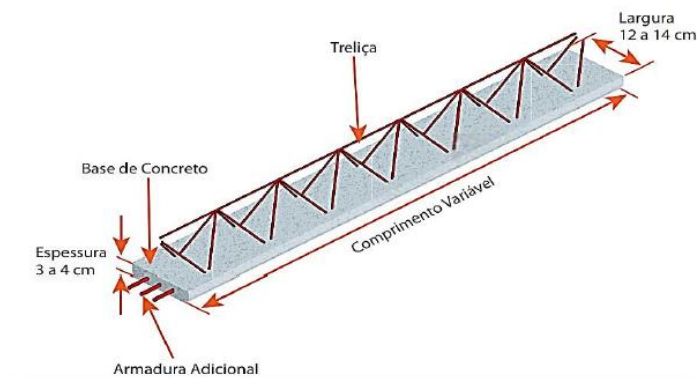


Fonte: Moraes (2020).

Ainda de acordo com a ABNT NBR 14859-1:2016 as lajes pré-fabricadas unidirecionais são constituídas por nervuras principais longitudinais que são dispostas em uma única direção. Essa direção leva em consideração o menor vão teórico l_x , que paralela a direção principal.

Segundo Moraes (2020), as vigotas trelaçadas são elementos pré-moldados em que duas trelças são unidas por intermédio de solda no vértice superior, formando assim a sua armação. Sua base é concretada, mas uma parte da armadura fica exposta, sendo responsável pela aderência da capa futura de concreto para a laje, se caracterizando como elementos de fácil transporte e manuseio, reduzindo assim o tempo nas obras. Na Figura 7 vemos um exemplo de modelo de vigotas trelaçadas.

Figura 7: Treliça Pré-moldada.



Fonte: Moraes (2020).

As vigotas permitem diferentes quantidades de aço na sua fabricação, variando de acordo com a necessidade do projeto, podendo ser tanto de aço CA-60 como de aço CA-50. MORAES (2020).

3.1.4.1 Material de Enchimento (Bloco de EPS)

De acordo com Pinheiro (2016), os blocos de EPS são muito utilizados, principalmente em associação com as vigotas treliçadas, onde as vantagens deste tipo de material são muitas também, podendo ser citadas a seguir, dentre elas tem-se:

- Permite acabamento plano do teto;
- Material facilmente cortado com ferramentas convencionais;
- Boa resistência à operação de montagem;
- Baixo coeficiente de absorção, permitindo boa cura do concreto;
- Baixo módulo de elasticidade, permitindo boa distribuição das cargas;
- Bom isolante termo-acústico.

Sendo assim, é possível observar na Figura 8, o bloco de EPS em uso juntamente com as vigotas treliçadas.

Figura 8: Aplicação do bloco de EPS em lajes treliçadas.



Fonte: Lajes BIGLajes apud Pinheiro (2016).

3.1.5 Sistema de Lajes

Dentre os tipos de sistemas convencionais são utilizados em edifícios, normalmente, os mais utilizados são lajes maciças ou nervuradas, podendo ser moldadas in loco ou pré-fabricadas. Quando se tem a necessidade de grandes vãos, por exemplo, é empregada o concreto protendido para melhorar o desempenho da estrutura, principalmente em termos de resistência, para se ter um maior controle quanto a fissuração e deformações. (PINHEIRO, 2007).

Outras alternativas são a utilização de lajes sem vigas, apoiadas diretamente sobre os pilares, podendo ser, com capitéis, também conhecidas como lajes-cogumelo, e sem capitéis, lajes lisas. Para o alinhamento dos pilares, pode-se utilizar vigas embutidas, com altura considerada igual a espessura das lajes, conhecidas também como vigas-faixas. (PINHEIRO, 2007).

Para escolha do sistema estrutural, alguns fatores são importantes, dentre a capacidade do meio técnico para desenvolver o projeto e para executar a obra, outro fator importante também é a disponibilidade de matérias, mão de obra e os equipamentos que são necessários para a execução da obra. (PINHEIRO, 2007).

Para lajes maciças, uns dos sistemas mais tradicionais é composta por vigas e pilares, muito utilizada em pequenas dimensões de lajes, e que se adapte ao projeto arquitetônico. (FARIA, 2012 apud OTINO & ABI-ACKEL, 2015).

Para sistemas de lajes nervuradas, tem-se como aspecto fundamental a reutilização dos materiais, onde esse reaproveitamento é uns dos fatores principais para esse tipo de sistemas, além também da diminuição no peso próprio da laje. (FARIA, 2012 apud OTINO & ABI-ACKEL, 2015).

Além disso, as cubetas e formas plásticas, proporcionam uma maior facilidade para quem irá realizar a mão de obra, com grande capacidade de reutilização. (GRAZIANO, 2005 apud OTINO & ABI-ACKEL, 2015).

3.1.6 Pré-dimensionamento de Lajes

Segundo Pinheiro (2007), o pré-dimensionamento das lajes pode seguir alguns parâmetros ajudam a direcionar a altura ideal para aquele elemento estrutural. Ainda de acordo com Pinheiro (2007) será apresentado a seguir algumas formas de determinar a altura final da laje.

A espessura das lajes pode ser obtida com a expressão da Equação (2):

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

d - Altura útil da laje

ϕ - Diâmetro das barras

c - Cobrimento nominal da armadura

Para o cobrimento da armadura da laje, a NBR 6118:2014 indica qual o cobrimento mínimo para aquele tipo de estrutura, de acordo com a classe de agressividade, que pode ser encontrada na ABNT NBR 6118:2014 (Tabela 1).

Tabela 1: Tabela de classe de agressividade da NBR 6118:2014.

Classe de agressividade ambiental	Agressividade	Classificação geral do tipo de ambiente para efeito de projeto	Risco de deterioração da estrutura
I	Fraca	Rural	Insignificante
		Submersa	
II	Moderada	Urbana ^{a, b}	Pequeno
III	Forte	Marinha ^a	Grande
		Industrial ^{a, b}	
IV	Muito forte	Industrial ^{a, c}	Elevado
		Respingos de maré	

Fonte: ABNT NBR 6118:2014 (2014).

Logo, é possível visualizar na Tabela 2, quais os cobrimentos mínimos necessários para lajes e de acordo com sua classe de agressividade.

Tabela 2:Correlação de classe de agressividade e cobrimento para concreto armado e protendido da ABNT NBR 6118:2014.

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

Fonte: ABNT NBR 6118:2014 (2014).

Para lajes com bordas apoiadas ou engastadas, a altura útil pode ser estimada por meio da seguinte Equação (3):

$$d_{est} = (2,5 - 0,1 * n) * \frac{l}{100} \quad (3)$$

$$l \leq \{l_x \text{ ou } 0,7 * l_y\}$$

Em que:

n - Número de bordas engastadas

l_x - Menor vão

l_y - Maior vão

Para lajes com bordas livres, como as lajes em balanço, deve ser utilizado um processo alternativo que não é objeto de estudo deste trabalho. Além disso, a ABNT NBR 6118:2014 prescreve quais as alturas mínimas para cada tipo de laje.

3.2 MÉTODOS DE ANÁLISES ADOTADOS

3.2.1 Método de Análise do TQS (Analogia a Grelha)

Segundo Pinheiro (2016) apud Duarte (1998), o procedimento da analogia de grelha representa a laje por meio de uma grelha equivalente, a mesma é disposta por barras ortogonais entre si, de forma que a rigidez longitudinal se concentre nas barras longitudinais e a rigidez transversal se concentre também nas barras longitudinais.

$$M_y = \mu_y * \frac{pl_x^2}{100} \quad (5)$$

Analogamente, para os momentos negativos:

$$M_{\bar{x}} = \mu_{\bar{x}} * \frac{pl_x^2}{100} \quad (6)$$

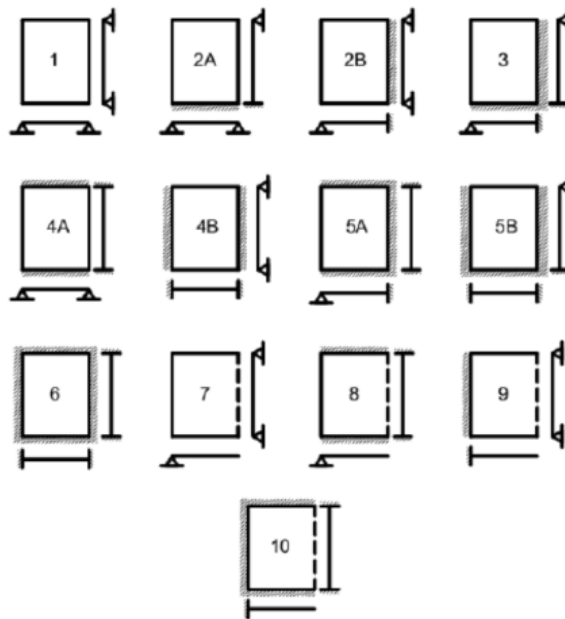
$$M_{\bar{y}} = \mu_{\bar{y}} * \frac{pl_x^2}{100} \quad (7)$$

Em que, M_x é o momento máximo positivo que atua na direção x; p é o carregamento uniformemente distribuído no plano xy da laje; l_x é o menor vão da placa; μ é um coeficiente adimensional que leva em consideração as vinculações e relação entre vãos da placa.

Os coeficientes μ_x equação (4), μ_y equação (5), $\mu_{\bar{x}}$ equação (6), $\mu_{\bar{y}}$ equação (7), para obtenção dos momentos máximos são obtidos pelas tabelas de Bares em função do caso de vinculação da laje e da relação λ . (PINHEIRO, 2007).

As vinculações sugeridas pelas tabelas de bares estão apresentadas na Figura 10:

Figura 10: Vinculação das bordas das lajes.



Fonte: Carvalho e Figueiredo Filho (2014) apud Pinheiro (2016).

De acordo com Pinheiro (2016) o cálculo das flechas elásticas deve-se utilizar o coeficiente α obtido pela tabela Bares, segundo ao tipo de vinculação da laje e a relação λ . Tendo sua flecha elástica demonstrada pela equação (8):

$$f = \frac{pl_x^4}{Eh^3} \times \frac{\alpha}{100} \quad (8)$$

Onde:

- p – carregamento uniformemente distribuído na placa;
- l_x – menor vão da placa;
- E – módulo de elasticidade do concreto;
- h – espessura da placa;

3.3 ESTADOS LIMITES

Estados limites são estados cuja ocorrência configura em uma manifestação não desejada da estrutura. O método dos estados limites é um método semi-probabilístico para definir quando um estado de deterioração da estrutura é atingido.

Segundo a ABNT NBR 6118:2014 existem dois Estados Limites, onde o (ELU), corresponde ao Estado Limite último, referente ao colapso da estrutura, e o (ELS) Estado Limite de serviço, corresponde deformações excessivas fissuras ou vibrações que comprometam a durabilidade ou aspecto estético das estruturas.

3.3.1 Estado Limite Último

De acordo com a ABNT NBR 6118:2014, o estado limite último, estar relacionado ao colapso, ou a qualquer outra forma de ruína estrutural. Causando assim a paralização total ou parcial do uso da estrutura.

De forma atender os Estados limites últimos das estruturas, as mesmas devem atingir os valores prescritos na norma, tanto para os limites de encurtamento, como também para alongamento em todos as combinações de ações atuantes na estrutura.

3.3.2 Estado Limite de Serviço

Segundo ABNT NBR 6118:2014, os Estados-limites de serviço são aqueles relacionados ao conforto do usuário e à durabilidade, aparência e boa utilização das estruturas, seja em relação aos usuários, seja em relação às máquinas e aos equipamentos suportados pelas estruturas.

Segundo Pinheiro (2016) esses deslocamentos são obtidos a partir da utilização de modelos que levem em conta a rigidez efetiva das seções do elemento estrutural, onde tenha a presença da armadura, fissuras e deformações diferidas no tempo.

Segundo a ABNT NBR 6118:2014 a verificação dos deslocamentos nas vigas e lajes, podem ser simplificadas, porém a norma recomenda que a deformação real seja estimada levando em consideração alguns fatores, além dos efeitos imediatos. Esses fatores são os processos construtivos, juntamente com as propriedades dos materiais durante a execução do serviço, grau de fissuração, propriedades de fluência e retração. Esses fatores são de grande variabilidade, influenciam diretamente na flecha real da estrutura. (PINHEIRO, 2016).

3.4 COMBINAÇÕES DE AÇÕES

De acordo com a NBR 6118:2014 as combinações de ações devem ser realizadas de forma a gerar os efeitos mais desconfortáveis para a estrutura, de forma a verificar a segurança em relação aos estados-limites últimos e aos estados-limites de serviço, que são realizadas a partir das combinações últimas e das combinações de serviço, respectivamente.

3.4.1 Combinações Últimas

Segundo a NBR 6118:2014, a combinação última pode ser classificada em normal, especial ou construção e excepcional.

3.4.1.1 Combinações Últimas Normais

De acordo com a NBR 6118:2014, as combinações últimas se caracterizam por conterem todas as ações permanentes e a ação variável principal, onde esses valores devem ser característicos, e para as demais ações variáveis com probabilidade não desprezível, deve-se reduzir de acordo com os coeficientes de ponderação. Para as condições normais de utilização

da edificação, as cargas de utilização são consideradas com maior probabilidade de ocorrência, mostrada na Equação 9.

$$F_d = \gamma_g F_{gk} + \gamma_{\varepsilon g} F_{\varepsilon gk} + \gamma_q (F_{q1k} + \sum \psi_{0j} F_{qjk}) + \gamma_{\varepsilon g} \psi_{0\varepsilon} F_{\varepsilon qk} \quad (9)$$

3.4.1.2 Combinações Últimas Especiais ou de Construção

Segundo a NBR 6118:2014, as combinações ultimas se caracterizam por conterem todas as ações permanentes e a ação variável especial, onde esses valores devem ser característicos, e para as demais ações variáveis com probabilidade não desprezível, deve-se reduzir de acordo com os coeficientes de ponderação. Essas combinações levam em consideração os processos construtivos da edificação e situações especiais de probabilidade não desprezível.

3.4.1.3 Combinações Últimas Excepcionais

Ainda segundo a NBR 6118:2014, as combinações últimas excepcionais, se caracterizam por conterem todas as ações permanentes e a ação variável excepcionais, onde esses valores devem ser característicos, e para as demais ações variáveis com probabilidade não desprezível, deve-se reduzir de acordo com os coeficientes de ponderação. Para essas combinações são utilizadas para levar em consideração uma ação excepcional ao uso normal da edificação.

3.4.2 Combinações de Serviço

Para reforçar toda a sua explicação, posso sugerir você indicar que a repetição da ocorrência de um estado limite de serviço são prejudiciais a estrutura. Por isso elas são baseadas em frequência de ocorrência.

3.4.2.1 Classificação

Segundo o item 11.8.3.1 da NBR 6118:2014, as combinações de serviço são classificadas de acordo com sua permanência na estrutura e devem ser verificadas como estabelecido nos itens a seguir:

- a) quase permanentes: podem atuar durante grande parte do período de vida da estrutura,

e sua consideração pode ser necessária na verificação do estado-limite de deformações excessivas Equação (10).

b) frequentes: repetem-se muitas vezes durante o período de vida da estrutura, e sua consideração pode ser necessária na verificação dos estados-limites de formação de fissuras, de abertura de fissuras e de vibrações excessivas. Podem também ser consideradas para verificações de estados-limites de deformações excessivas decorrentes de vento ou temperatura que podem comprometer as vedações Equação (11).

c) raras: ocorrem algumas vezes durante o período de vida da estrutura, e sua consideração pode ser necessária na verificação do estado-limite de formação de fissuras Equação (12).

$$F_{d,ser} = \sum F_{gi,k} + \sum \psi_{2j} F_{qj,k} \quad (10)$$

$$F_{d,ser} = \sum F_{gi,k} + \psi_1 F_{q1k} + \sum \psi_{2j} F_{qj,k} \quad (11)$$

$$F_{d,ser} = \sum F_{gi,k} + F_{q1k} + \sum \psi_{1j} F_{qjk} \quad (12)$$

$F_{d,ser}$ - é o valor de cálculo das ações para combinações de serviço;

F_{q1k} - é o valor característica das ações variáveis principais diretas;

ψ_1 - é o fator de redução de combinação frequente para ELS;

ψ_2 - é o fator de redução de combinação quase permanente para ELS;

3.4.2.2 Fator de Redução para combinações quase permanentes

Os fatores redutores utilizados para determinação das cargas atuantes pela combinação quase permanente, encontram-se a seguir:

ψ_1 - é o fator de redução de combinação frequente para ELS;

ψ_2 - é o fator de redução de combinação quase permanente para ELS;

ψ_2 - Com valor de 0,4 para combinações quase permanente.

3.5 VERIFICAÇÃO DOS DESLOCAMENTOS

3.5.1 Atuação da Fluência na Flecha diferida no tempo

Segundo a NBR 6118:2014 a flecha adicional diferida, decorrente das cargas de longa duração em função da fluência, pode ser calculada de maneira aproximada pela multiplicação da flecha imediata pelo fator αf dado pela equação (13):

$$\alpha f = \frac{\Delta \varepsilon}{1 + 50\rho'} \quad (13)$$

Onde:

$$\rho' = \frac{A_s'}{bd} \quad (14)$$

Onde:

- A_s' - Armadura da área comprimida da seção;
- b – Largura da seção transversal;
- d – Altura útil;
- ξ é um coeficiente função do tempo, que pode ser obtido diretamente na Tabela 17.1 da NBR 6118:2014 ou ser calculado pela equação (15):

$$\Delta \xi = \xi(t) - \xi(t_0) \quad (15)$$

Onde:

t : tempo, em meses, para o valor da flecha diferida;

t_0 : idade, em meses, da aplicação da carga de longa duração;

$$\xi(t) = 0,68 * 0,996^t * t^{0,32} \text{ para } t \leq 70 \text{ meses} \quad (16)$$

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

3.5.2 Momento de Fissuração de Elementos em Concreto

Segundo Clímaco (2016) apud Rodrigues (2020), quando se trata de ELS, as peças de concreto armado no regime global elástico, tem das suas várias regiões trabalhando no estágio I, isso para quando não estão fissuradas, caso contrário, se estiverem fissuradas estão trabalhando no estágio II. Para conseguir identificar em qual estágio a peça está trabalhando, a expressão (17) define esta divisão:

$$M_r = \frac{\alpha \times fct_m \times I_c}{y_t} \quad (17)$$

Onde:

α - Fator que correlaciona aproximadamente a resistência à tração na flexão com a resistência à tração direta. Adota-se $\alpha = 1,5$ para seções retangulares e $\alpha = 1,2$ para seções T ou duplo T;

y_t - Distância do centro de gravidade da seção à fibra mais tracionada;

I_c - Momento de inércia da seção bruta de concreto;

fct_m - Resistência à tração direta do concreto, deve ser usado o fct_m no estado-limite de deformação excessiva;

De acordo com o item 8.2.5 da NBR 6118:2014, para concretos de classes até C50, a resistência a tração direta é calculada pela equação (18):

$$fct_m = 0,3 \times fck^{\frac{2}{3}} \quad (18)$$

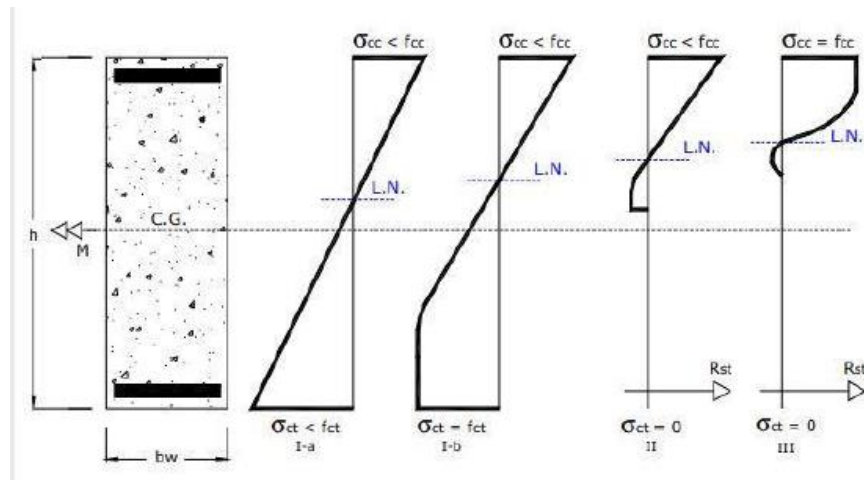
Já o momento de inércia da seção bruta é dado pela equação (19):

$$I_c = \frac{b \times h^3}{12} \quad (19)$$

3.6 ESTÁDIOS DE COMPORTAMENTO DO CONCRETO ARMADO

De acordo com Nogueira (2010) apud Rodrigues (2020), as estruturas em concreto armado, são analisadas em serviço pelas hipóteses clássicas de estádios de comportamento, onde a seção é considerada não fissurada ou fissurada, esta classificação depende muito da intensidade da solicitação. A Figura 11 representa as características dos 3 estádios:

Figura 11: Seção de concreto armado e seus estádios de deformação.



Fonte: Nogueira, (2010) apud Rodrigues, (2020).

Segundo Rodrigues (2020):

- a) Estádio I – No primeiro estágio, o mesmo é dividido em duas fases, a primeira fase se refere I-a, onde a seção é solicitada com cargas baixas, sendo inferiores a resistência a tração e a compressão do concreto, dessa forma a seção se encontra não fissurada, e sua proporcionalidade entre tensão e deformação é mantida. Na segunda fase, também denominada I-b, as solicitações aumentam, como consequências as tensões de tração também. Esse aumento consegue atingir a resistência a tração, fazendo surgir as primeiras fissuras, mas mesmo assim o concreto tracionado contribui na resistência da estrutura.
- b) Estádio II – Também é conhecida como a fase em que o concreto que se encontra abaixo da linha neutra, está totalmente fissurada. Dessa forma toda a parcela do concreto que se encontra nessa região não resiste mais a tração, fazendo com que essa região tracionada seja desprezada. Sobrando apenas a armadura localizada abaixo da linha neutra contribuindo para o desempenho global da estrutura. O concreto e o Aço encontram-se na fase elástica.
- c) Estádio III – Neste estágio, as solicitações atingem intensidades elevadas, fazendo com que o aço atinja o início da tensão de escoamento, e o concreto atinge o estado de ruptura, fazendo com que a tensão na fibra mais comprimida do concreto atinge o seu valor da resistência a compressão

3.7 MÓDULO DE ELASTICIDADE

De acordo com a ABNT NBR 6118:2014 o módulo de elasticidade inicial (E_{ci}) deve ser obtido segundo o método de ensaio estabelecido na ABNT NBR 8522, sendo considerado nesta Norma o módulo de deformação tangente inicial, obtido aos 28 dias de idade.

Equação (20), $E_{ci} = \alpha E \times 5600 \times \sqrt{f_{ck}}$, para f_{ck} de 20 MPa a 50 MPa;

$$E_{ci} = \alpha E \times 5600 \times \sqrt{f_{ck}} \quad (20)$$

Sendo α_E um coeficiente que depende do tipo de agregado utilizado na mistura do concreto:

$\alpha E = 1,2$ para basalto e diabásio

$\alpha E = 1,0$ para granito e gnaisse

$\alpha E = 0,9$ para calcário

$\alpha E = 0,7$ para arenito

Onde:

E_{ci} e f_{ck} são dados em megapascal (MPa).

Também pela ABNT NBR 6118:2014, o módulo de deformação secante pode ser obtido de acordo com o método de ensaio estabelecido na ABNT NBR 8522, ou estimado pela Equação (21):

$$E_{cs} = \alpha i \times E_{ci} \quad (21)$$

Onde, o valor de αi é denominado a partir da Equação (22) abaixo:

$$\alpha i = 0,8 + 0,2 \times \frac{f_{ck}}{80} \leq 1,0 \quad (22)$$

A norma ABNT NBR 6118:2014 também apresenta uma Tabela (Tabela 8.1), com os valores estimados de módulo de elasticidade em função da resistência característica a compressão do concreto, sendo que nessa tabela é considerado também o agregado graúdo como sendo o granito.

4. METODOLOGIA

O presente estudo, tem como caráter de pesquisa qualitativa, onde de acordo com Duarte (2002), essa metodologia fornece dados muito significativos e densos, mas também muito difíceis de analisarem, por isso a importância do auxílio da fundamentação teórica para compreensão dos resultados.

A Figura 12 ilustra as etapas que serão abordadas durante o desenvolvimento deste trabalho.

Figura 12: Fluxograma do trabalho.



Fonte: Autor (2021).

Na fase de fundamentação da revisão teórica é realizado o levantamento dos principais trabalhos necessários para entendimento do assunto abordado.

Seguindo, temos o desenvolvimento dos modelos a serem analisados. Os modelos analisados foram comparados em termos de geometria tipos de lajes e processo de análise. Com relação a geometria, será variada nos casos analisados a relação $\lambda = \frac{l_y}{l_x}$. No processo de análise de analogia de grelha será utilizada a ferramenta TQS V 22.6 ® (Versão estudante), em sua versão livre de estudante. No processo de análise de analogia de placas serão utilizadas as tabelas de bares ANEXO A e ANEXO B, apresentadas no trabalho de Pinheiro (2016).

Na etapa de comparação dos modelos desenvolvidos (Figura 12) foi realizada a comparação destes tipos diferentes de lajes. A comparação se deu na consideração dos parâmetros de momento fletor e deslocamentos das lajes.

Após obtido todos esses parâmetros foram desenvolvidos os resultados e as discussões, quanto aos valores obtidos, exaltando a importância desses parâmetros na escolha de um tipo

de laje para uma obra.

Por fim, foram desenvolvidas as conclusões referentes aos parâmetros obtidos, evidenciando que as mudanças observadas nos resultados de uma laje e consequentemente pode modificar a concepção estrutural inicialmente.

Conforme descrito anteriormente, será utilizado a ferramenta TQS V 22.6. ® (Versão estudante), neste software será lançada todo o sistema estrutural e carregamentos, resultando nos parâmetros que serão analisados, taxa de armadura, deslocamentos e momento fletor.

4.1 CARACTERISTICAS DOS MODELOS

Foram desenvolvidos 12 modelos no total, sendo 4 modelos para Lajes Maciças, 4 para lajes Nervuradas e 4 para Lajes Treliçadas. Os modelos foram desenvolvidos para investigar a variação da relação λ , sendo utilizadas lajes com as seguntes geometrias: 3m x 3m; 3m x 4m; 3m x 5m e; 3m x 6m. As espessuras das lajes foram mantidas de 0,15m.

Os valores dos demais elementos que componham o sistema estrutural, são os seguintes:

Vigas: 15 x 50 cm.

Pilares: 15 x 30 cm.

Pé direito adotado de 3 m.

A geometria para o elemento estrutural (Lajes) foi levada em consideração, as recomendações da ABNT NBR 6118:2014. Os pilares respeitam a área mínima de 360 cm², entretanto a menor dimensão será utilizada 15 cm. Apesar da norma recomendar a dimensão mínima de 19cm para pilares, ela permite a utilização de dimensões entre 19 cm e 14 cm, desde que se multipliquem os esforços solicitantes de cálculos a serem considerados no dimensionamento por um coeficiente adicional γ_n . A Tabela 9 apresenta os valores dos coeficientes γ_n para os pilares e pilares – parede.

Tabela 3:Valores dos coeficientes γ_n para os pilares.

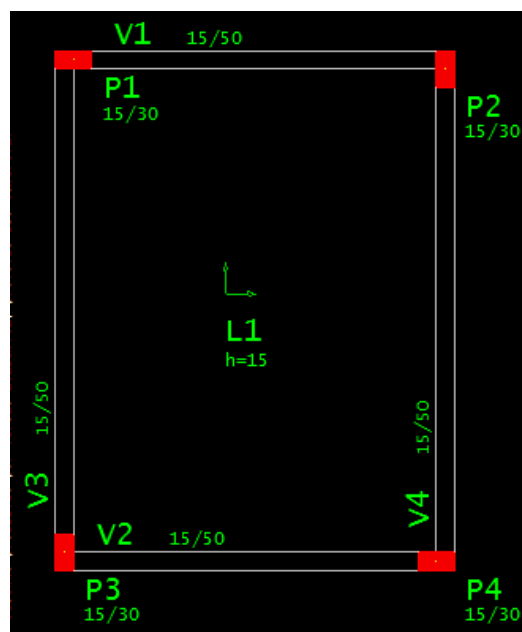
b cm	≥ 19	18	17	16	15	14
γ_n	1,00	1,05	1,10	1,15	1,20	1,25
onde $\gamma_n = 1,95 - 0,05 b$; b é a menor dimensão da seção transversal, expressa em centímetros (cm). NOTA O coeficiente γ_n deve majorar os esforços solicitantes finais de cálculo quando de seu dimensionamento.						

Fonte: ABNT NBR 6118:2014.

Para as vigas, segundo o item 13.2.2 da ABNT NBR 6118:2018 a seção transversal das vigas não pode apresentar largura menor que 12 cm e a de vigas-parede menor que 15 cm.

Logo os modelos que foram desenvolvidos, terão as características citadas acima, entretanto as lajes serão caracterizadas de acordo com cada tipo (Maciças, Nervuradas, Treliçadas), na Figura 13 pode-se observar o modelo desenvolvido no software TQS para as lajes maciças, o modelo mostrado nesta figura, indica a disposição dos elementos estruturais no sistema da estrutural.

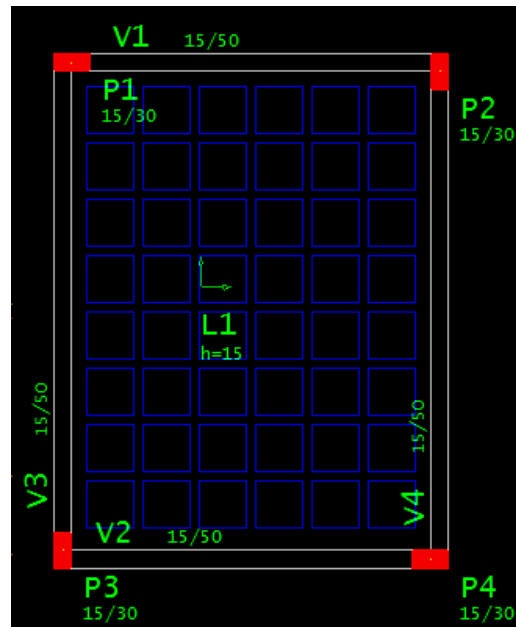
Figura 13: Planta representativa da Laje Maciça $l_y \times l_x$ desenvolvida pelo software TQS.



Fonte: Autor (2021).

Os modelos desenvolvidos e que estão representados nas Figuras 13, 14 e 15, tem como principal função representar os modelos desenvolvidos nesta pesquisa de forma geral, em que, suas dimensões nestas figuras são, l_x na direção horizontal e l_y na direção vertical.

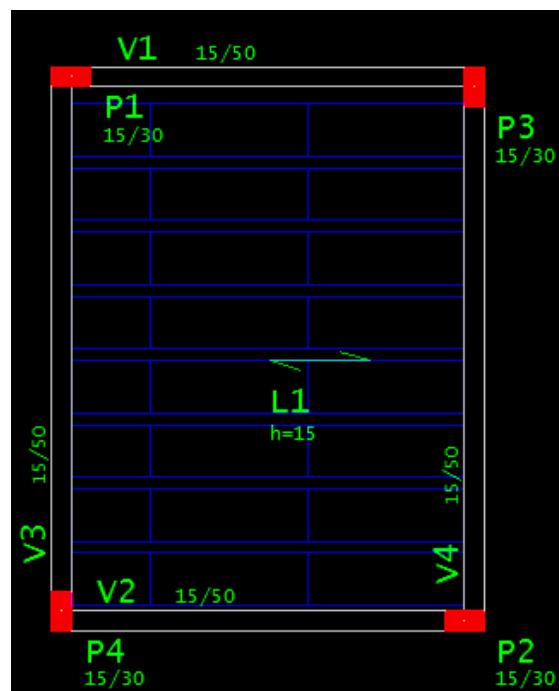
Figura 14: Planta representativa da Laje Nervurada $l_y \times l_x$ desenvolvida pelo software TQS.



Fonte: Autor (2021).

É importante relembrar que, as dimensões l_x para todos os tipos de lajes (Maciças, Nervuradas e Trelaçadas), permanecem 3 metros, e as dimensões correspondente a l_y variam de 3 até 6 metros.

Figura 15: Planta representativa da Laje Trelaçada $l_y \times l_x$ desenvolvida pelo software TQS.



Fonte: Autor (2021).

5 RESULTADOS E DISCURSSÕES

5.1 LAJES MACIÇAS

Para identificar de forma teórica os momentos fletores das lajes maciças, será utilizado o método das tabelas de Bares (1972), onde se utiliza as equações (4), (5), (6) e (7) do item 3.2.2 deste mesmo trabalho. O tipo de vinculação adotada para as lajes estudadas foi o Tipo 1 (ver Figura 10), em que possui quatro bordas simplesmente apoiadas, onde de acordo com a Figura 10, possui 4 bordas livres. A Tabela 4 apresenta as propriedades geométricas e o tipo de vinculação adotado em todas as lajes.

Tabela 4: Tabela das informações dos tipos de vínculos e dimensões das lajes maciças.

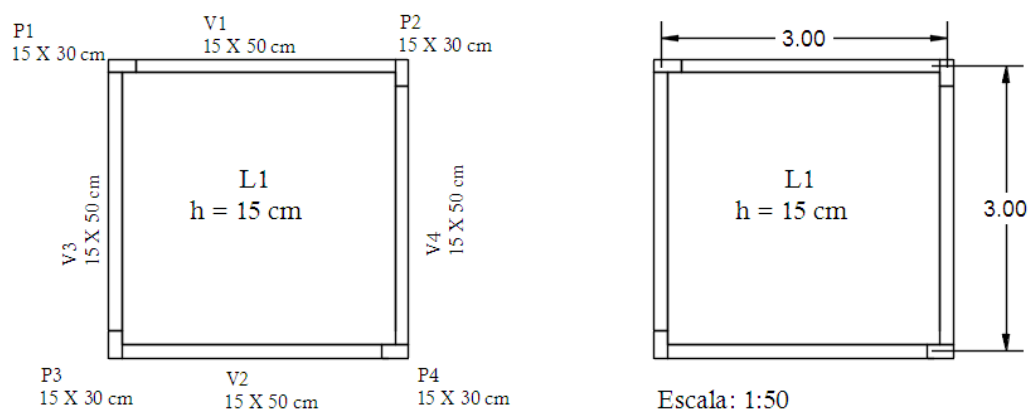
Lajes	Tipo	l_x	l_y	l_y/l_x
L1	1	3	3	1,00
L2	1	3	4	1,33
L3	1	3	5	1,67
L4	1	3	6	2,00

Fonte: Autor (2021).

Como pode-se perceber, as geometrias das lajes foram escolhidas de forma que o $\lambda = \frac{l_y}{l_x}$ não ultrapassasse o valor de 2,00 (Tabela 10). Essa consideração foi fixada para que as lajes trabalhem sempre de forma bidimensional.

A laje 1, denominada L1 possui os vãos livres de 3 m cada, com pode se observar na Figura 16.

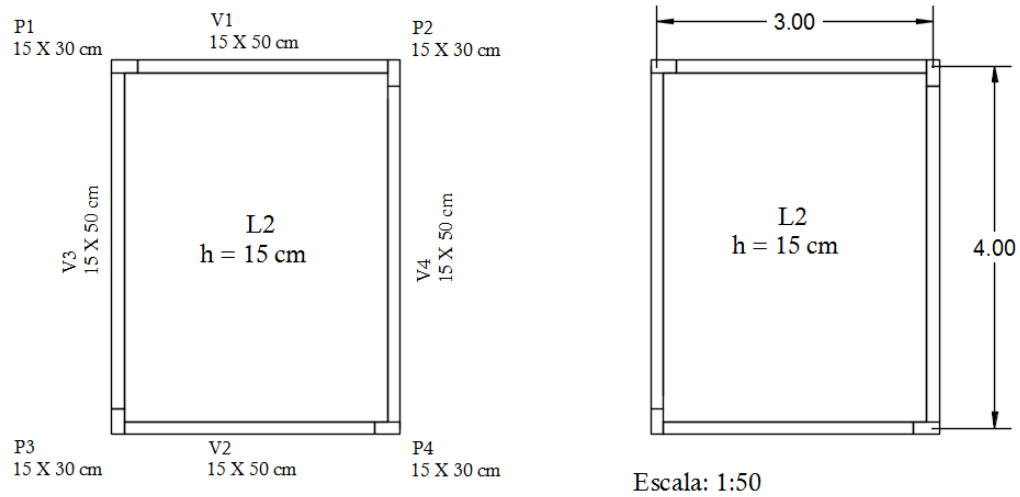
Figura 16: Laje maciça (L1) 3 x 3 m.



Fonte: Autor (2021).

A laje 2, denominada L2, os vãos livres possuem 4 x 3 m, para melhor representar este modelo a Figura 17 demonstra a disposição das vigas e dos pilares.

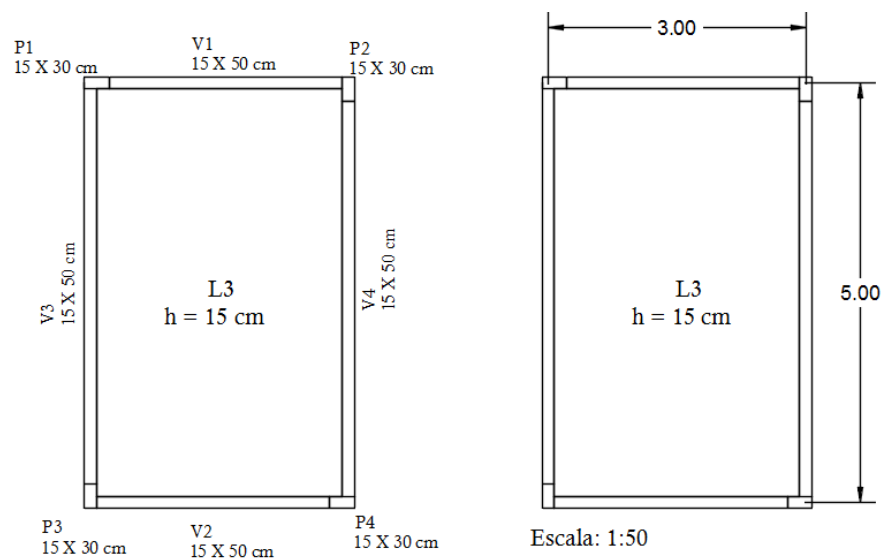
Figura 17: Laje maciça (L2) 4 x 3 m.



Fonte: Autor (2021).

A laje 3, denominada L3 (Figura 18), possui vãos livres de 5 x 3 m, esse acréscimo de 1m em 1m foi pensado de forma pode compreender o comportamento das lajes, com diferentes dimensões dos vãos, e de forma que a esbelteza não ultrapasse o valor de 2,00. Na Figura 18 pode se observar a laje L3.

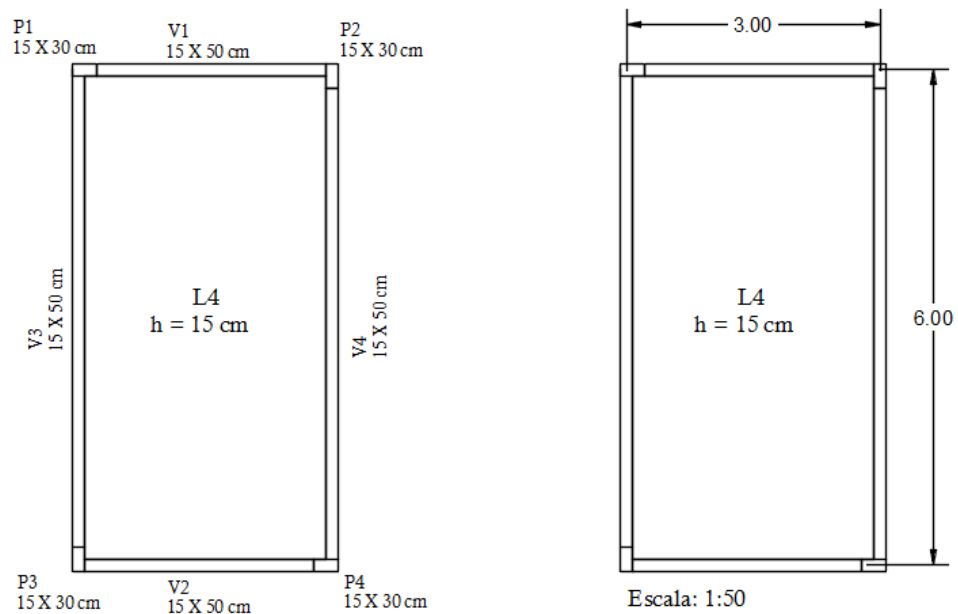
Figura 18: Laje maciça (L3) 5 x 3 m.



Fonte: Autor (2021).

O último modelo desenvolvido para lajes maciças é a laje 4, denominada L4, com dimensões de 6 x 3 m, com a disposição dos pilares e vigas. A Figura 19 representa o modelo da laje L4.

Figura 19: Laje maciça (L4) 6 x 3 m.



Fonte: Autor (2021).

5.1.1 Cargas atuantes nas Lajes Maciças

Para a determinação das cargas atuantes nas Lajes Maciças, foram determinadas pelos dispostos na ABNT NBR 6120:2019.

A Tabela 5 representa os valores correspondentes as cargas atuantes nas lajes e com a descrição das mesmas.

Tabela 5: Valores das cargas atuantes nas lajes maciças.

Cargas nas lajes			
Cargas Permanentes			
Pp	3,75	kN/m ²	Peso próprio
Rev	1	kN/m ²	Revestimentos
Cargas Acidental			
Ac	1,5	kN/m ²	Acidental
6,25		kN/m ²	TOTAL DE CARGAS

Fonte: Autor (2021).

Pp – Peso próprio

Rev.- Revestimento

Ac- Acidental

O valor do peso próprio da laje de $3,75 \text{ kN/m}^2$, onde este valor vem do peso específico aparente do concreto armado, que está disponível na ABNT NBR 6120:2019, considerado um valor de 25 kN/m^3 (Tabela 6), e multiplicando este valor pela espessura das lajes, que corresponde a 15 cm, temos a carga correspondente ao peso próprio da laje.

Tabela 6: Peso específico aparente do Concreto armado em kN/m^3 .

Material		Peso específico aparente γ_{ap} kN/m^3
3 Argamassas e concretos	Argamassa de cal, cimento e areia	19
	Argamassa de cal	12 a 18 (15)
	Argamassa de cimento e areia	19 a 23 (21)
	Argamassa de gesso	12 a 18 (15)
	Argamassa autonivelante	24
	Concreto simples	24
	Concreto armado	25
	NOTA Os pesos específicos de argamassas e concretos são válidos para o estado endurecido.	

Fonte: ABNT NBR 6120:2019.

Outra carga que deve ser considerada para atuar na laje, são os revestimentos para os pisos de acabamento. A Tabela 7 (revestimentos de pisos e impermeabilizações) da ABNT NBR 6120:2019 indica que para revestimentos de pisos de edifícios residenciais e comerciais um peso específico aparente de 20 kN/m^3 e com uma espessura de 5 cm, obtêm-se $1,0 \text{ kN/m}^2$ para as cargas dos revestimentos.

Tabela 7: Peso específico aparente dos revestimentos.

Material	Espessura cm	Peso kN/m^2
Impermeabilização com manta asfáltica simples (apenas manta com 15 % de sobreposição e pintura asfáltica, sem camada de regularização nem proteção mecânica)	0,3	0,08
	0,4	0,10
	0,5	0,11
Piso elevado interno com placas de aço, sem revestimento (até 30 cm de altura)	–	0,5
Piso elevado interno com placas de polipropileno, sem revestimento (até 30 cm de altura)	–	0,15
Revestimentos de pisos de edifícios residenciais e comerciais ($\gamma_{ap-m} = 20 \text{ kN/m}^3$)	5	1,0
	7	1,4
Revestimentos de pisos de edifícios industriais ($\gamma_{ap-m} = 34 \text{ kN/m}^3$)	5	1,7
	7	2,4
Impermeabilizações em coberturas com manta asfáltica e proteção mecânica, sem revestimento ($\gamma_{ap-m} = 18 \text{ kN/m}^3$)	10	1,8
	15	2,7
NOTA Calcular caso a caso, considerando a espessura dos componentes do revestimento de pisos e seus respectivos pesos específicos. Na falta de informações mais precisas, podem ser considerados os pesos específicos médios indicados.		

Fonte: ABNT NBR 6120:2019.

Para as cargas acidentais, a Tabela 8 apresenta, para edifícios residenciais sugere as cargas em cada cômodo da residência. Para determinação desta parcela, foi adotado $1,5 \text{ kN/m}^2$ como carga acidental de forma a representar regiões, como por exemplo, dormitórios, salas, copa, cozinha e sanitários.

Tabela 8: Carga acidental para salas, dormitórios, banheiros.

Edifícios residenciais	Dormitórios	1,5	—
	Sala, copa, cozinha	1,5	—
	Sanitários	1,5	—
	Despensa, área de serviço e lavanderia	2	—
	Quadras esportivas	5 ^a	—
	Salão de festas, salão de jogos	3 ^a	—
	Áreas de uso comum	3 ^a	—
	Academia	3 ^a	—
	Forro acessíveis apenas para manutenção e sem estoque de materiais	0,1 ^{a,r}	—
	Sótão	2 ^a	—
	Corredores dentro de unidades autônomas	1,5	—
	Corredores de uso comum	3	—
	Depósitos	3	—
	Áreas técnicas (ver item nesta Tabela)		
	Jardins (ver item nesta Tabela)		

Fonte: ABNT NBR 6120:2019.

Contudo a carga total atuante foi obtida pela soma de cada parcela, como pode-se observar na tabela 1, um valor total de $6,25 \text{ kN/m}^2$, este valor para o ELU deve ser multiplicado pelo $\gamma_f = 1,4$. Portanto a carga para o momento fletor será de $8,75 \text{ kN/m}^2$.

5.1.2 Apresentação dos resultados de momento fletor pelos métodos estudados.

Neste item, serão apresentados os resultados obtidos para momentos fletores pelos métodos de analogia de placa (Bares) e pelo método de analogia de grelha (TQS).

Para o método de Bares os momentos fletores estão apresentados na Tabela 9. Na tabela possuem os valores dos momentos positivos na direção X (M_x) e os momentos positivos na direção Y (M_y).

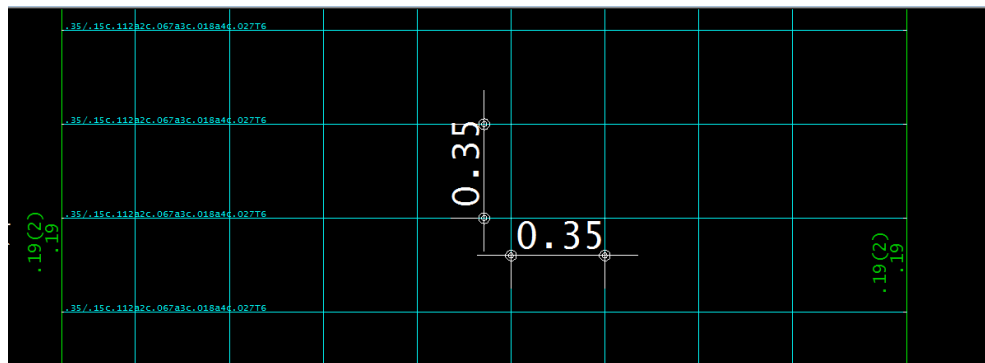
Tabela 9: Momentos fletores para lajes maciças.

MOMENTO FLETORES PARA LAJES MACIÇAS				
μ_x	μ_y	M_x	M_y	LAJES
		(kN*m)/m	(kN*m)/m	
4,23	4,23	3,33	3,33	L1
6,77	4,06	5,33	3,20	L2
8,5	3,66	6,69	2,88	L3
9,91	3,16	7,80	2,49	L4

Fonte: Autor (2021).

Para os modelos do TQS, é necessário realizar uma transformação nas unidades, visto que o software fornece os valores em tf.m. O modelo padrão de analogia de grelha do TQS posiciona as barras espaçadas em 0,35m (ver Figura 20). Para obter os momentos fletores em kNm/m deve-se dividir o momento nas barras reticuladas por este espaçamento.

Figura 20: Distância da grelha formada para lajes Maciças.

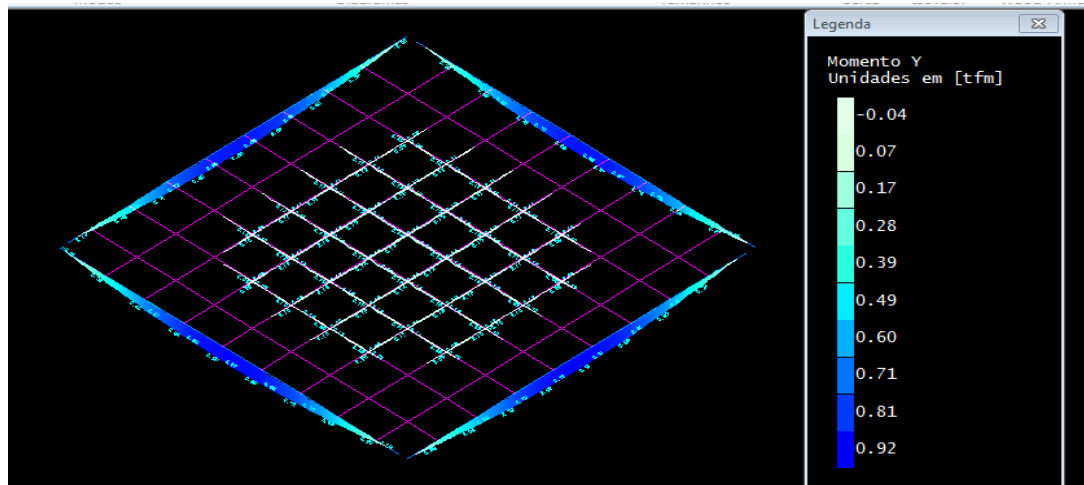


Fonte: Autor (2021).

Para a laje maciça L1, o método de Bares (1972) determinou um valor de 3,33 kN.m/m e avaliando o modelo desenvolvido no software TQS o momento positivo na direção X é equivalente a 3,92 kN.m/m, como pode-se observar na Figura 21.

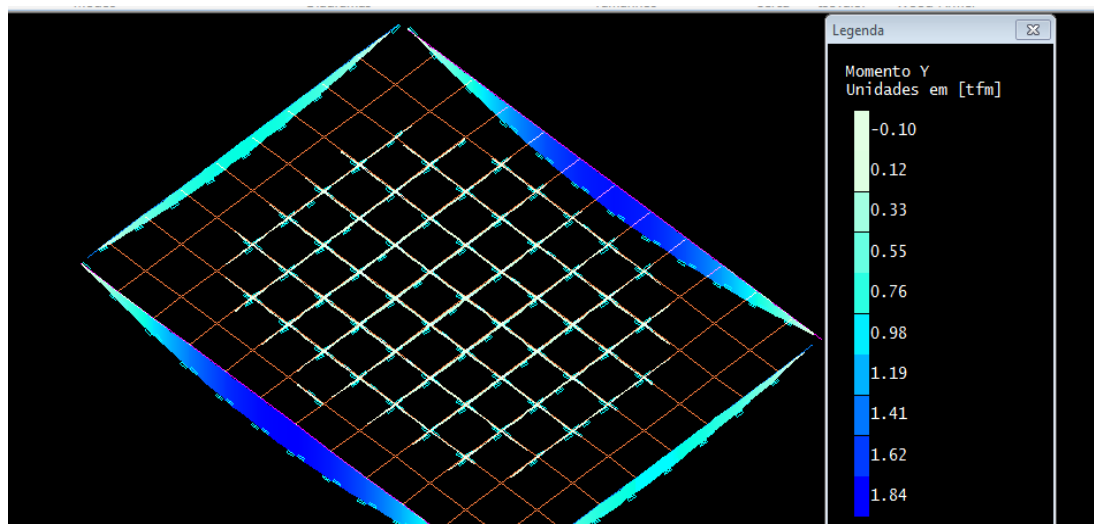
Na laje maciça L2, pelo método de Bares (1972) o momento positivo na direção X é 5,33 kN.m/m, e pelo TQS, na mesma direção foi obtido 5,61 kN.m/m (Figura 22).

Figura 21: Momento fletor da Laje maciça L1 3x3 m, desenvolvida no TQS.



Fonte: Autor (2021).

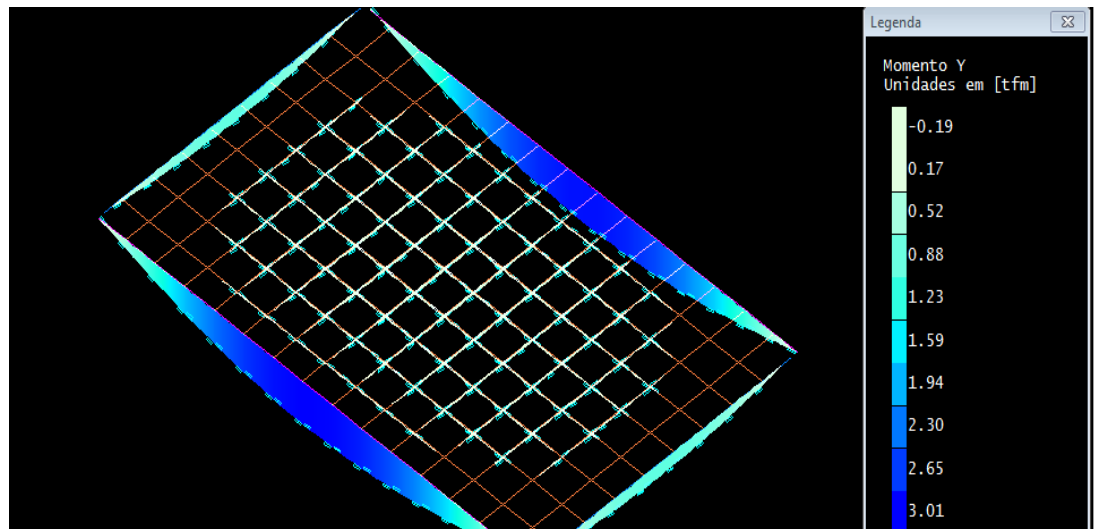
Figura 22: Momento fletor da Laje maciça L2 4x3 m, desenvolvida no TQS.



Fonte: Autor (2021).

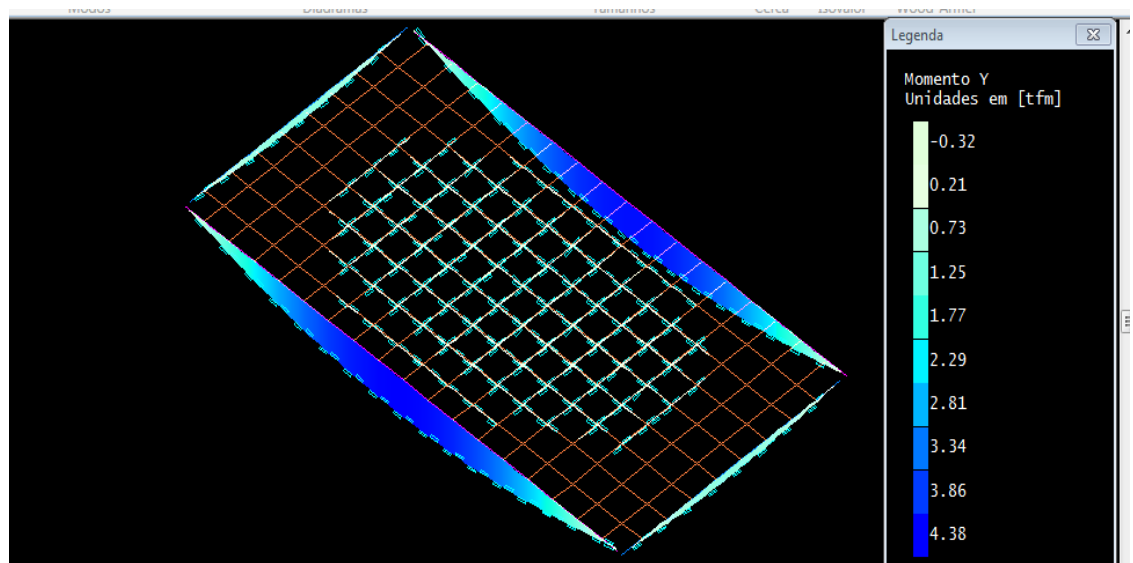
Como as lajes possuem dimensões diferentes, a laje maciça L3 (Figura 23) apresenta resultado pelo método de Bares (1972) superior na direção X, como pode-se observar na Tabela 16. Observando a Tabela 16, a laje maciça L4 (Figura 24) apresenta resultados semelhantes da laje L3, pelo método de Bares (1972) o valor do momento fletor é de 7,80 kN.m/m, e pelo TQS 6,73 kN.m/m.

Figura 23: Momento fletor da Laje maciça L3 5x3 m, desenvolvida no TQS.



Fonte: Autor (2021).

Figura 24: Momento fletor da Laje maciça L4 6x3 m, desenvolvida no TQS.



Fonte: Autor (2021).

A comparação entre os resultados obtidos está apresentada na Tabela 10.

Tabela 10: Momento fletor das lajes pelo método de Bares (1972) e pelo TQS.

Comparativo dos Métodos Momentos Máximos (Medidas em kN.m/m)			
LAJE	DIREÇÃO	BARES	TQS
		M(+)	M(+)
LAJE MACIÇA L1 3 X 3 m	X	3,33	3,92
	Y	3,33	3,92
LAJE MACIÇA L2 4 X 3 m	X	5,33	5,61
	Y	3,20	4,2
LAJE MACIÇA L3 5 X 3 m	X	6,69	6,45
	Y	2,88	4,49
LAJE MACIÇA L4 6 X 3 m	X	7,80	6,73
	Y	2,49	5,04

Fonte: Autor (2021).

5.1.3 Deslocamento Método de Bares (1972) para lajes Maciças

5.1.3.1 Carga atuante nas Lajes maciças

Como já mostrado anteriormente neste trabalho, a carga atuante nas lajes se encontra no item 5.1.1. onde de acordo com a ABNT NBR 6120:2019, foi possível determinar as cargas que estará presente distribuídas pela área da laje. Com um valor equivalente a 6,25 kN/m².

Os deslocamentos para o caso da analogia de placas serão calculados considerando uma combinação quase-permanente, apresentada no Item 3.2.2.

5.1.3.2 Combinação Quase Permanente para lajes maciças

A Combinação Quase-Permanente leva em consideração a atuação da carga permanente da estrutura em sua totalidade e as cargas acidentais multiplicadas pelo coeficiente ψ_2 (ver Equação 19). O coeficiente ψ_2 utilizado para a combinação, é caracterizado por locais em que há predominância de pesos de equipamentos que permanecem fixos por longos períodos de

tempo, ou de elevada concentração de pessoas, em que, conforme indicado no item 3.4.2.2, deve ser utilizado como 0,4.

$$Q_{serv} = q_{peso_{proprio}} + q_{Revestimento} + (\psi_2 \times q_{Acidental}) \quad (23)$$

$$Q_{serv} = 3,75 + 1,0 + (0,4 \times 1,5) = 5,35 \frac{kN}{m^2}$$

Dessa forma, o valor de carga utilizada para cálculo da flecha na combinação quase-permanente é de 5,35kN/m² para cálculo da flecha imediata é o de 5,35 $\frac{kN}{m^2}$.

5.1.3.3 Modulo de Elasticidade Secante para lajes maciças

Para cálculo do deslocamento, será utilizado o módulo de elasticidade secante, já citado no item 3.6. deste mesmo trabalho. Para estudo deste trabalho, o agregado graúdo utilizado será o calcário, visando o material mais presente na região de estudo, que se encontra na cidade de Pau dos Ferros, no estado do Rio Grande do Norte. A equação 21 a seguir é referente ao valor do módulo de elasticidade secante:

$$E_{cs} = \alpha_i \times E_{ci}$$

Para se determinar O cálculo do módulo de elasticidade secante é função de um parâmetro α_i (que depende da resistência à compressão do concreto) e do módulo de elasticidade inicial (E_{ci}). O módulo de elasticidade inicial, para se determinar, é preciso do fck utilizado nos elementos estruturais, e do agregado graúdo utilizado, e como já citado, o agregado é o calcário. O fck utilizado será 25 MPa.

$$E_{ci} = \alpha E \times 5600 \times \sqrt{f_{ck}}$$

Sendo: $\alpha E = 0,9$ para calcário

fck = 25 MPa.

$$E_{ci} = 0,9 \times 5600 \times \sqrt{25}$$

$$E_{ci} = 25200 MPa$$

O valor de α_i é dado pela equação 22:

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

$$\alpha_i = 0,8 + 0,2 \times \frac{25}{80} \leq 1,0$$

$$\alpha_i = 0,8625 \leq 1,0$$

Dessa forma, o Módulo de Elasticidade Secante (E_{cs}) é dado pelas Equação (21).

$$E_{cs} = 0,8625 \times 25200$$

$$E_{cs} = 21735 \text{ MPa}$$

Para o Cálculo da Flecha é necessário identificar em qual estágio a peça estar atuando, para isso foi calculado o momento de fissuração da peça. Como já demonstrado no item 3.8 para o cálculo do momento de fissuração, é necessário o cálculo da inercia bruta da seção e da Resistência a tração direta no concreto.

Inércia da seção bruta, pela equação (19):

$$I_c = \frac{b \times h^3}{12} = \frac{1 \times 0,15^3}{12} = 2,81 \times 10^{-4} \text{ m}^4$$

Resistência a tração direta no concreto, pela equação (18):

$$f_{ctm} = 0,3 \times f_{ck}^{\frac{2}{3}} = 0,3 \times 25^{\frac{2}{3}} = 2,56 \text{ MPa}$$

Momento de fissuração, com $\alpha = 1,5$ para seções retangulares, equação (17):

$$M_r = \frac{\alpha \times f_{ctm} \times I_c}{y_t} = \frac{1,5 \times (2,56 \times 10^3) \times 2,81 \times 10^{-4}}{0,075} = 14,43 \text{ kN.m}$$

Com o valor do momento de fissuração, é possível identificar se a peça está atuando no estágio I (situação não fissurada), estágio II ou estágio III. Para a peça estar atuando no estágio

I, o momento de serviço que atua na laje não pode ser superior que ao valor encontrado no Momento de fissuração (M_r).

Para determinar o momento de serviço que atua nos modelos desenvolvidos, será utilizada a carga atuante com a combinação quase permanente. Dessa forma, a equação (4) utilizará a carga calculada no item 5.1.3.2 deste mesmo trabalho.

Para o modelo da Laje Maciça L1 (3 x 3 m):

$$M_{serv} = \mu_y * \frac{p_{serv} l_x^2}{100}$$

$$M_{serv} = 4,23 \times \frac{5,35 \times 3^2}{100}$$

$$M_{serv} = 2,04 \text{ kN.m}$$

O cálculo executado anteriormente, será realizado para todos os modelos de lajes maciças desenvolvidos. Sendo assim, a Tabela 11 a seguir, informa os dados os valores dos momentos de serviço de cada modelo desenvolvido para as lajes maciças, além do momento de fissuração. Além disso também, possui a informação de qual estágio a peça estará atuando.

Tabela 11: Estádio em que os modelos de lajes maciças atuam.

MODELOS	MOMENTO SERVIÇO (kN.m)	MOMENTO FISSURAÇÃO (kN.m)	SITUAÇÃO
LAJE MACIÇA L1 (3 X 3 M)	2,04	14,43	ESTÁDIO I (Não fissura)
LAJE MACIÇA L2 (4 X 3 M)	3,48	14,43	ESTÁDIO I (Não fissura)
LAJE MACIÇA L3 (5 X 3 M)	4,9	14,43	ESTÁDIO I (Não fissura)
LAJE MACIÇA L4 (6 X 3 M)	6,09	14,43	ESTÁDIO I (Não fissura)

Fonte: Autor (2021).

Como pode-se observar na Tabela 11, os momentos de serviço que atuam nos modelos das lajes maciças são inferiores em relação aos momentos de fissuração da peça, dessa forma, os modelos atuam no estágio I de fissuração.

Por essa característica, os deslocamentos imediatos podem ser obtidos pelo cálculo da flecha elástica, indicada no item 3.2.2 deste mesmo trabalho. Mas para determinação da flecha total é necessária ainda a consideração da fluência.

Para o cálculo da flecha das lajes pela analogia de placas proposta por Bares (1972) o coeficiente α (função da relação λ) está apresentado na Tabela 12.

Tabela 12: Parâmetro α para determinar a flecha imediata.

Lajes	Tipo	l_x (cm)	l_y (cm)	l_y/l_x	α
L1	1	300	300	1,00	4,76
L2	1	300	400	1,33	7,9
L3	1	300	500	1,67	10,4
L4	1	300	600	2,00	11,89

Fonte: Autor (2021).

5.1.3.4 Consideração da fluência nos deslocamentos para o modelo de bares.

O tempo t_0 é a idade em meses relativa à data de aplicação das cargas, nesse caso serão utilizados 14 dias, referentes a atuação das cargas após a retirada do escoramento.

$$t_0 = \frac{14}{30} \quad (24)$$

$$t_0 = 0,47$$

Os coeficientes para as idades $t_0 = 0,47$ e para o tempo infinito são:

$$\varepsilon(t_0) = 0,68 * 0,996^{0,47} * 0,47^{0,32} = 0,53$$

$$\varepsilon(\infty) = 2$$

A flecha adicional diferida, decorrente das cargas de longa duração em função da fluência, pode ser calculada de maneira aproximada pela multiplicação da flecha imediata pelo fator αf dado pela expressão:

$$\alpha f = \frac{\Delta \varepsilon}{1 + 50\rho'}$$

Como não há armadura comprimida, então $\rho' = 0$, resultando assim um fator αf .

$$\alpha f = \frac{2 - 0,53}{1} = 1,47$$

O valor da flecha total no tempo infinito será aquela correspondente à combinação quase permanente multiplicada por $(1 + \alpha f)$:

$$f_{total} = f_{imediate} \times (1 + 1,47)$$

O deslocamento imediato foi calculado pela Tabela de bares, utilizando o carregamento para combinação quase-permanente. A Tabela 13 apresenta os resultados de deslocamento imediato.

Tabela 13: Flecha Imediata, a partir da carga da combinação quase permanente.

DESLOCAMENTO IMEDIATO PARA LAJES MACIÇAS										
Lajes	Tipo	lx (m)	ly (m)	ly/lx	P (kN/m²)	α	E (kN/m²)	e (m)	f (m)	f (cm)
L1	1	3	3	1,00	5,35	4,76	21735000	0,15	0,00028	0,028
L2	1	3	4	1,33		7,9			0,00047	0,047
L3	1	3	5	1,67		10,4			0,00061	0,061
L4	1	3	6	2,00		11,89			0,00070	0,070

Fonte: Autor (2021).

O valor de flecha total está apresentado na Tabela 14:

Tabela 14: Flecha total atuante nos modelos das lajes maciças.

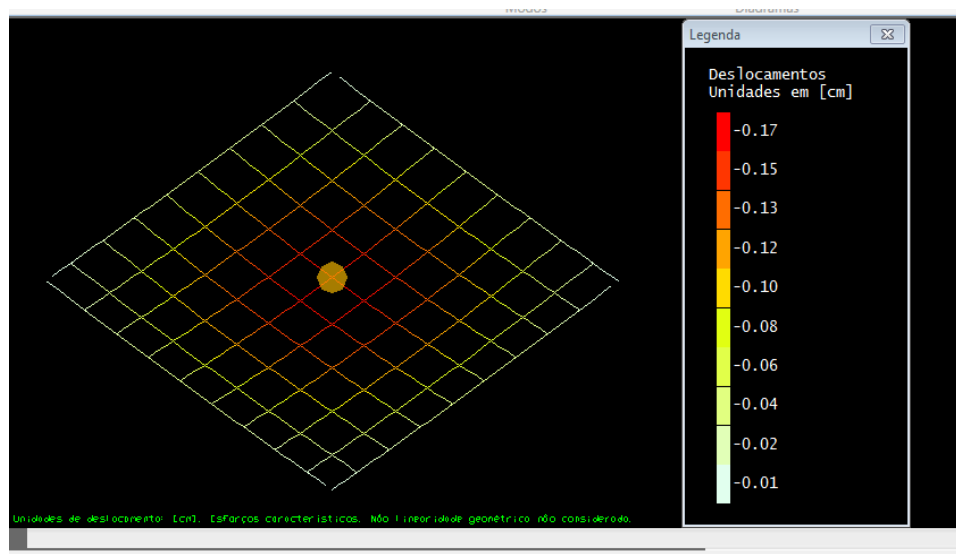
LAJE	f,imediate (cm)	(1+ αf)	f,total (cm)
LAJE MACIÇA L1 3 X 3 m	0,028	2,47	0,07
LAJE MACIÇA L2 4 X 3 m	0,047		0,12
LAJE MACIÇA L3 5 X 3 m	0,061		0,15
LAJE MACIÇA L4 6 X 3 m	0,070		0,17

Fonte: Autor (2021).

5.1.4 Deslocamento pelo método TQS para os modelos das lajes maciças

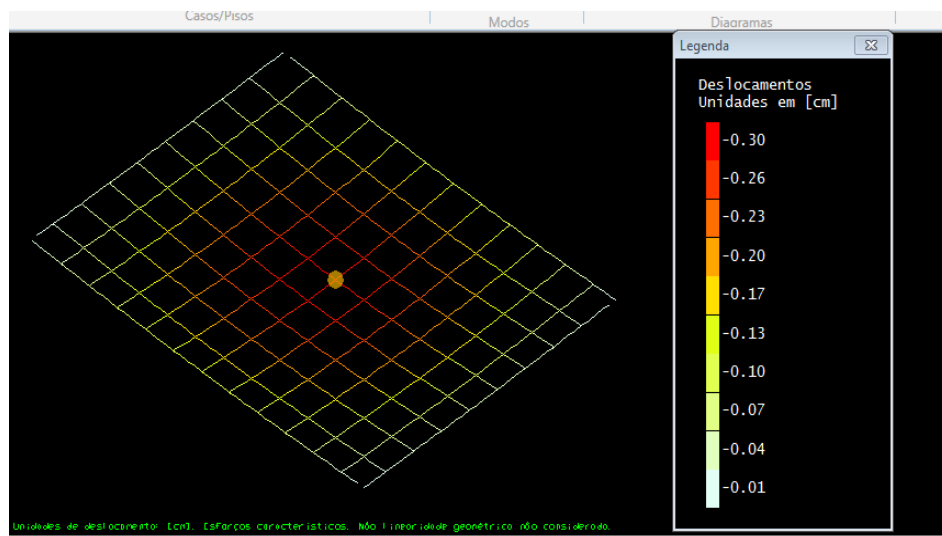
A verificação de flecha imediata para a analogia de grelha pelo TQS pode ser determinada pela obtenção da flecha de forma direta. Nas Figuras 25 a 28 apresentam os deslocamentos referentes a cada modelo desenvolvido para as lajes maciças, e por não ter uma visualização tão claro dos valores máximos, na Tabela 21 é possível observar as flechas correspondentes dos modelos.

Figura 25:Deslocamento referente a laje maciça L1 3 x 3 m.



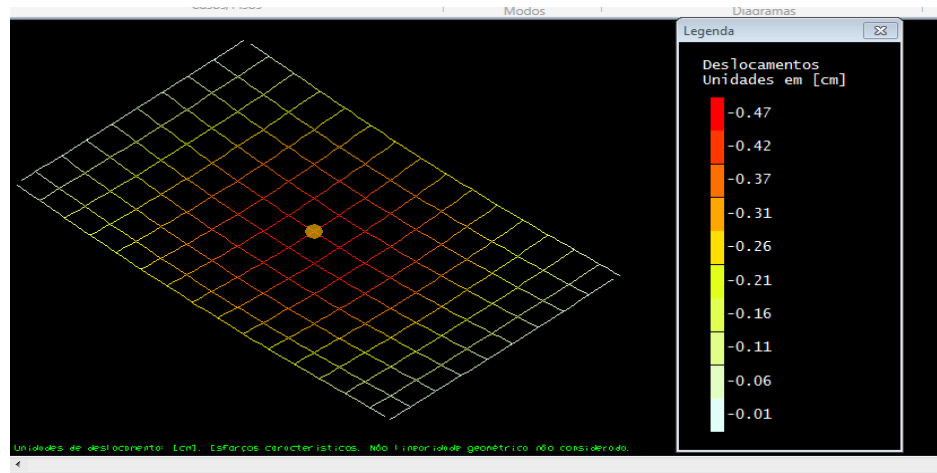
Fonte: Autor (2021).

Figura 26:Deslocamento referente a laje maciça L2 4 x 3 m.



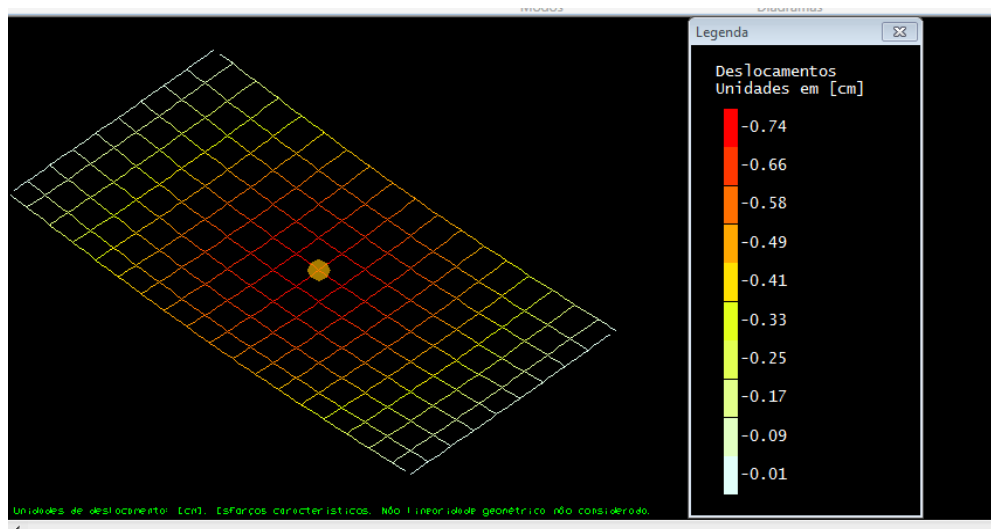
Fonte: Autor (2021).

Figura 27:Deslocamento referente a laje maciça L3 5 x 3 m.



Fonte: Autor (2021).

Figura 28:Deslocamento referente a laje maciça L4 6 x 3 m.



Fonte: Autor (2021).

Tabela 15: Flechas obtidas pelo software TQS, correspondentes dos modelos das lajes maciças.

LAJE	FLECHA TQS (cm)
LAJE MACIÇA L1 3 X 3 m	0,17
LAJE MACIÇA L2 4 X 3 m	0,3
LAJE MACIÇA L3 5 X 3 m	0,47
LAJE MACIÇA L4 6 X 3 m	0,74

Fonte: Autor (2021).

5.2 LAJES NERVURADAS

Assim como nas lajes maciças, a vinculação das lajes e a relação $\frac{l_y}{l_x}$ são as mesmas, de forma a comparar as lajes em situações iguais, desse modo, a Tabela 4 que se encontra no item 5.1 deste mesmo trabalho, é equivalente para as Lajes Nervuradas.

5.2.1 Carga atuante nas Lajes Nervuradas

De forma análoga ao item 5.1.1 para Lajes Maciças, as cargas que atuaram nas lajes Nervuradas serão semelhantes, apenas a carga referente ao peso próprio que difere das outras. Para efeitos de comparação, a carga permanente utilizada no método de analogia de placas (bares) foi o mesmo utilizado pelo cálculo do TQS.

Figura 29: Carga referente ao peso próprio dos modelos das lajes nervuradas.

Cargas sobre as lajes		

CDist	Cargas distribuídas permanentes e acidentais, tf/m2	
PP	Peso próprio, tf/m2	
Laje	CDist	PP
2	.250	.284
Lajes nervuradas - grelha equivalente		

Fonte: Autor (2021).

Como pode-se observar na Figura 29, o peso próprio da laje já vem descrito no relatório do software, desse modo para o cálculo das cargas será utilizado 0,284 tf/m², que equivale a 2,84 kN/m².

Para as cargas referentes aos revestimentos e carga acidental, serão utilizados os mesmos valores que no item 5.1.1 para as lajes maciças, logo, 1 kN/m² para revestimentos e 1,5 kN/m² para a carga variável.

Na Tabela 16 pode-se observar o valor da carga atuante na laje e que será de suma importância para determinar os momentos fletores das lajes.

Tabela 16: Levantamento das cargas atuantes nos modelos das lajes nervuradas.

Cargas nas lajes			
Cargas Permanentes			
Pp	2,84	kN/m ²	Peso próprio
Rev	1	kN/m ²	Revestimentos
Cargas Acidental			
Ac	1,5	kN/m ²	Acidental
5,34		kN/m ²	TOTAL DE CARGAS

Fonte: Autor (2021).

A carga total atuante foi obtida pela soma de cada parcela, como pode-se observar na Tabela 17, um valor total de 5,34 kN/m². Este valor para o ELU deve ser multiplicado pelo $\gamma_f = 1,4$. Portanto a carga para o momento fletor será de 7,476 kN/m².

5.2.2 Momento Fletor pelo método de BARES (1972) E TQS para os modelos das lajes nervuradas.

Na Tabela 17 pode-se observar os momentos fletores para os 4 modelos de Laje Nervurada:

Tabela 17: Momentos fletores dos modelos das lajes nervuradas por Bares (1972).

MOMENTO FLETORES PARA LAJES NERVURADAS				
μ_x	μ_y	M_x	M_y	LAJES
		(kN*m)/m	(kN*m)/m	
4,23	4,23	2,85	2,85	L1
6,77	4,06	4,56	2,73	L2
8,5	3,66	5,72	2,46	L3
9,91	3,16	6,67	2,13	L4

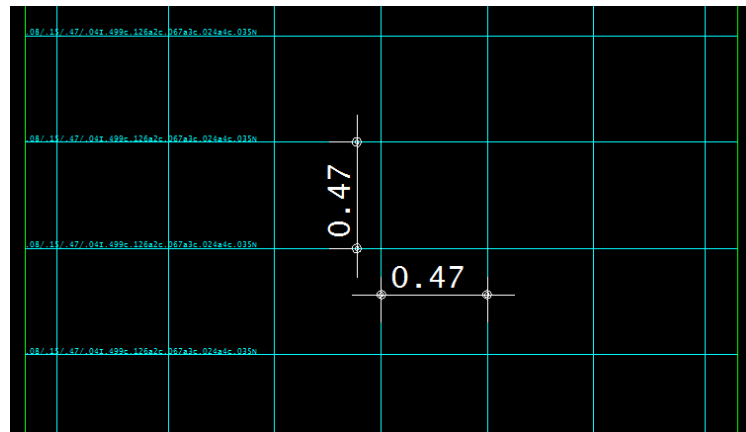
Fonte: Autor (2021).

De forma análoga ao item 5.1.2 deste trabalho, será descrito a comparação dos valores dos momentos fletores obtidos na direção y, pelo método de Bares (1972) e pelo TQS.

No modelo desenvolvido no TQS, a grelha, possui uma distância igual nas duas direções de modo a formar um quadrado, no modelo das Lajes Nervuradas, essa distância é equivalente a dimensões da cubeta utilizada (39 cm), mais a metade do espaçamento (8 cm de espaçamento

entre cubetas) entre cubetas, dos dois lados, logo, a distância das grelhas, será de 39 cm + 8 cm, equivalendo a 47 cm, como pode-se observar na Figura 30.

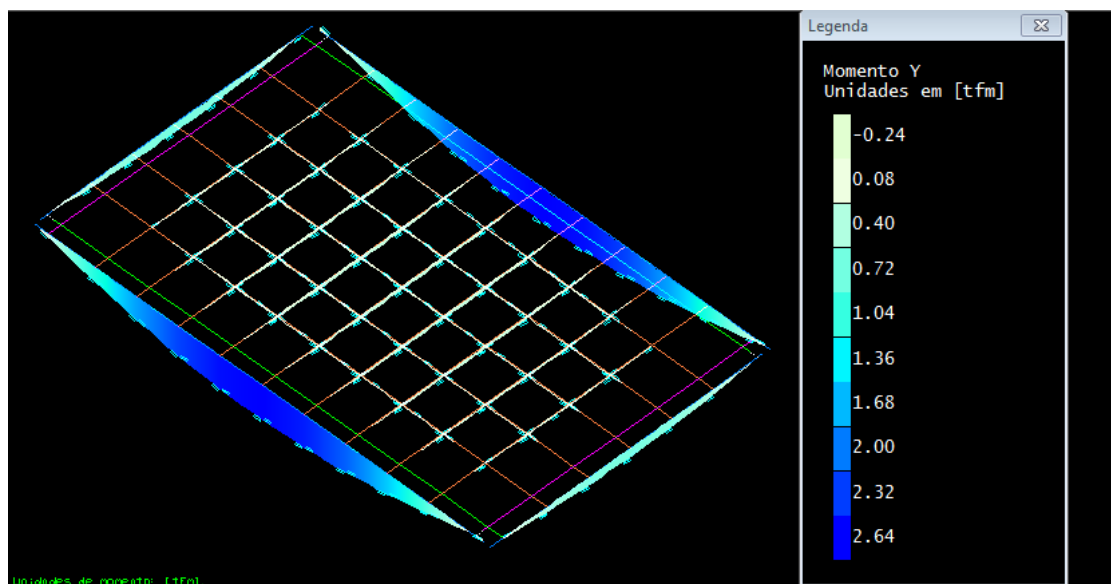
Figura 30: Dimensões da grelha formada para os modelos das lajes nervuradas.



Fonte: Autor (2021).

O TQS fornece o momento fletor para cada barra. Esse momento deve ser distribuído por unidade de comprimento, logo, logo o valor que é fornecido pelo software deve-se ser dividido pela distância de 0,47 m e multiplicado por 9,81 para transformar de tfm para kN.m.

Figura 31: Momento fletor em um modelo de laje nervurada pelo TQS.



Fonte: Autor (2021).

Para o último modelo de laje Nervurada L4 (Figura 32), o momento fletor alcançou seus valores mais próximos, entre os métodos de determinação dos momentos fletores, na direção

X, para o método de Bares (1972) obteve-se um valor de 6,67 kN.m/m, já pelo método do TQS o valor foi de 6,68 kN.m/m.

Na Tabela 18 é possível identificar melhor, as diferenças nos momentos fletores obtidos pelos métodos estudados.

Tabela 18: Comparação dos momentos fletores obtidos pelos métodos de Bares (1972) e TQS.

Comparativo dos Métodos Momentos Máximos (Medidas em kN.m/m)			
LAJE	DIREÇÃO	BARES	TQS
		M(+)	M(+)
LAJE NERVURADA L1 3 X 3 m	X	2,85	3,76
	Y	2,85	3,76
LAJE NERVURADA L2 4 X 3 m	X	4,56	5,63
	Y	2,73	3,55
LAJE NERVURADA L3 5 X 3 m	X	5,72	6,47
	Y	2,46	3,13
LAJE NERVURADA L4 6 X 3 m	X	6,67	6,68
	Y	2,13	2,92

Fonte: Autor (2021).

5.3 LAJES TRELIÇADAS

5.3.1 Carga atuante nas Lajes Trelaçadas

Assim como no item 5.2.1, para determinar as cargas atuantes nas lajes trelaçada, é preciso determinar o peso próprio que as lajes trelaçadas causam para os modelos, desse modo, será utilizado os valores fornecidos no relatório do software TQS.

Além disso, para as lajes trelaçadas, foi utilizado um EPS de 8cm x 40cm x 120cm, que altera o peso próprio da estrutura e dado pelo fabricante.

Figura 32: Peso próprio das lajes trelaçadas.

PP Peso próprio médio por área (tf/m2)										
Laje	HN	CAPA	LNK	DNX	LNK	DNY	ENCH	HmedC	HmedE	PP
1	8	7	9	40	0	0	0.018	8	7	0.213
	Trelaçada Vigota			13 X	3	'EPS Unidirecional'		'H08/40/120'		

Fonte: Autor (2021).

De acordo com o que foi mostrado na Figura 32, a carga atuante na laje treliçada é correspondente a 0,213 tf/m², para seguir o mesmo exemplo que os modelos anteriores, essa carga será utilizada em kN/m², dessa forma 2,13 kN/m².

As cargas referentes aos revestimentos, também será análoga aos modelos das lajes já realizadas (maciças, nervuradas), portanto, com um peso específico de 20kN/m³, e um revestimentos com 5 cm de espessura, temos uma carga de 1,0 kN/m². Para as cargas variáveis, também será utilizada a carga accidental de 1,5 kN/m², referente a cargas em salas, dormitórios e banheiros, lembrando que essas cargas foram levantadas junto a ABNT NBR 6120:2019 e ocorre da mesma forma que no item 5.1.1 deste mesmo trabalho.

Tabela 19: Levantamento de cargas atuantes nos modelos das lajes treliçadas.

Cargas nas lajes			
Cargas Permanentes			
Pp	2,13	kN/m ²	Peso próprio
Rev	1	kN/m ²	Revestimentos
Cargas Accidental			
Ac	1,5	kN/m ²	Accidental
4,63		kN/m ²	TOTAL DE CARGAS

Fonte: Autor (2021).

5.3.2 Momento Fletor método de BARES (1972) e TQS para lajes treliçadas

De forma análoga aos itens 5.1.2 e 5.2.2, os momentos fletores pelo método de Bares, serão calculados pelas equações (3) do item 3.4 deste mesmo trabalho, sendo assim para as lajes treliçadas a única mudança, será relacionada a carga que atuará sobre a laje.

Os tipos de vínculo das lajes serão os mesmos que nos modelos das lajes maciças e nervuradas, que no caso é o tipo “1”, além disso a relação $\frac{l_y}{l_x}$, segue de forma igual, onde serão 4 modelos, (3 x 3 m), (3 x 4 m), (3 x 5 m), (3 x 6 m).

Sendo assim, a Tabela 20 representa os momentos fletores referentes as lajes treliçadas.

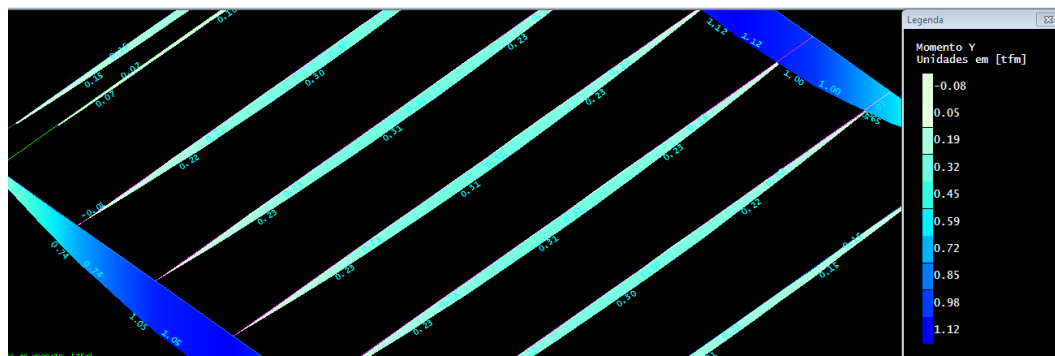
Tabela 20: Momentos fletores dos modelos das lajes treliçadas por Bares (1972).

MOMENTO FLETORES PARA LAJES TRELIÇADAS				
μ_x	μ_y	M_x	M_y	LAJES
		(kN*m)/m	(kN*m)/m	
4,23	4,23	2,47	2,47	L1
6,77	4,06	3,95	2,37	L2
8,5	3,66	4,96	2,14	L3
9,91	3,16	5,78	1,84	L4

Fonte: Autor (2021).

Para o método do TQS, será utilizado o software para determinar os momentos fletores, sendo assim, os valores serão obtidos a partir dos resultados emitidos pelo próprio software. O modelo das lajes treliçadas possui uma pequena diferença, comparadas aos modelos das lajes (maciças e nervuradas), não será necessário a multiplicação pela grelha que é formada, visto que, por se tratar de um laje unidirecional, as vigotas treliçadas estão dispostas apenas em uma direção, que no caso é a direção de menor vão. Portanto, o valor exibido no modelo do TQS Figura 33, é valor que atua por toda a extensão daquele vão da laje.

Figura 33: Momento fletor obtido através do TQS para modelo 3 x 3 m da laje treliçada.



Fonte: Autor (2021).

Como pode-se observar na Figura 33, o valor referente ao momento fletor na direção X. O valor máximo é equivalente 0,31 tf.m, sendo assim só é preciso transformar de tfm para kN.m, que multiplicando por 9,81 aproximado, retorna o valor igual a 3,04 kN.m, esse valor de momento se refere ao modelo de laje treliçada 3 x 3 m.

Para melhor representar os valores dos outros modelos de lajes treliçadas, a Tabela 21 descreve bem os momentos fletores na direção X para as lajes.

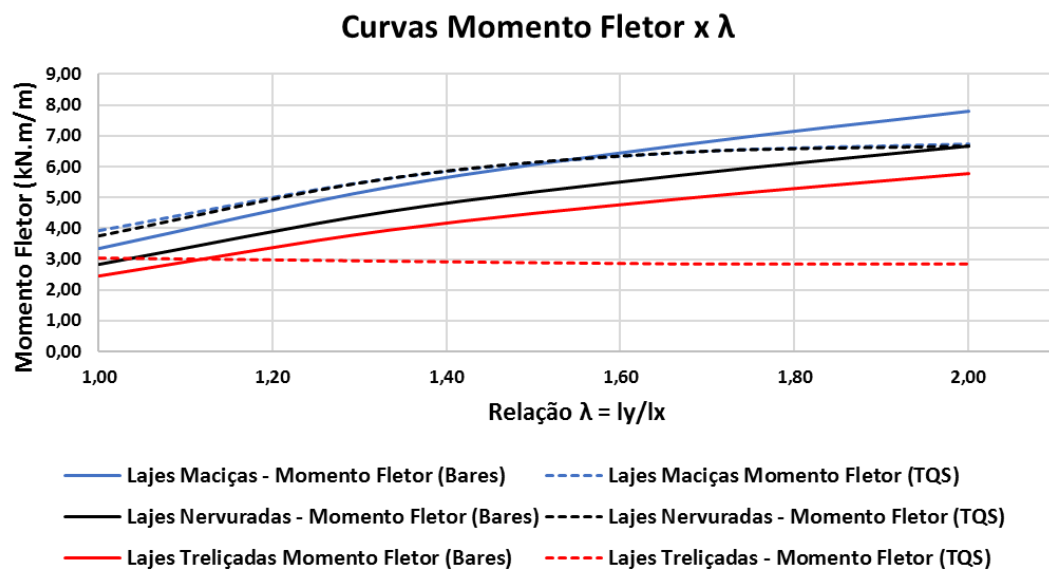
Tabela 21: Comparação dos momentos fletores a partir dos métodos de Bares (1972) e TQS.

Comparativo dos Métodos Momentos Máximos (Medidas em kN.m/m)			
LAJE	DIREÇÃO	BARES	TQS
		M(+)	M(+)
LAJE TRELIÇADA L1 3 X 3 m	X	2,47	3,04
	Y	2,47	-
LAJE TRELIÇADA L2 4 X 3 m	X	3,95	2,94
	Y	2,37	-
LAJE TRELIÇADA L3 5 X 3 m	X	4,96	2,85
	Y	2,14	-
LAJE TRELIÇADA L4 6 X 3 m	X	5,78	2,85
	Y	1,84	-

Fonte: Autor (2021).

5.4 COMPARAÇÃO DOS MOMENTOS FLETORES DOS MODELOS

A Figura 34, mostra o comparativo dos momentos fletores obtidos para os modelos de lajes desenvolvidos, tanto para o método de analogia de placas (Bares), como também para o Método de Analogia de grelhas (TQS).

Figura 34: Comparativo dos momentos fletores dos modelos pela sua relação $\frac{l_y}{l_x}$.

Fonte: Autor (2021).

Como pode-se observar na Figura 34, a curva referente a lajes maciças atinge os valores máximos de momentos fletores comparados aos momentos dos modelos tanto das lajes nervuradas e treliçadas.

Os valores de momentos obtidos pelo TQS para os modelos de lajes maciças, demonstram um comportamento diferente comparada com os modelos das treliçadas. Como pode-se observar na Figura 34 os momentos para as lajes maciças, elevam seus valores com o aumento da relação $\frac{l_y}{l_x}$. O mesmo comportamento não é análogo para as treliçadas, que se pode observar que o processo é contrário, a medida que a relação $\frac{l_y}{l_x}$ aumenta, os valores apresentam uma tendência de diminuir.

Outra característica que se pode observar na Figura 34, é que as lajes que possuem os maiores pesos próprios, atingem momentos superiores. As lajes maciças, como já mostrado neste trabalho possuem um peso próprio de 3,75 kN/m², e atingem os maiores valores de momentos. Na sequência tem-se a laje nervurada com peso próprio de 2,84 kN/m² e com os segundos maiores valores de momentos e por fim as lajes treliçadas, com peso próprio de 2,13 kN/m², atingem os menores valores. Isso evidencia que o peso próprio para estruturas como lajes é um fator importante no comportamento e dimensionamento das mesmas.

Na Figura 34, também é possível observar para pequenas relações λ (valores próximos de 1,0), foi observado que o método de analogia de placas (Bares) apresentou resultados de momento fletor menores em comparação com a analogia de grelha (TQS). Quando essa relação aumenta, os momentos fletores pela analogia a grelha para as lajes maciças e nervuradas, acompanham a curva de crescimento dos modelos das lajes pela analogia de placas (Bares). Esse comportamento só não é aplicado para os modelos das lajes treliçadas, que à medida que a relação λ aumenta, os valores dos momentos pela analogia a grelha diminuem.

Afim de melhor demonstrar esses resultados, a Tabela 22, apresenta porcentagem de diferença dos valores obtidos para as lajes maciças, tanto para os modelos pelo método de Bares, como também para os modelos desenvolvidos no TQS.

Tabela 22: Valores comparativos dos modelos de lajes maciças, em porcentagem.

Comparativo dos Métodos Momentos Máximos (Medidas em kN.m/m)				
LAJE	DIREÇÃO	BARES	TQS	Δ(%)
		M(+)	M(+)	
LAJE MACIÇA L1 3 X 3 m	X	3,33	3,92	-17,72
	Y	3,33	3,92	-17,72
LAJE MACIÇA L2 4 X 3 m	X	5,33	5,61	-5,23
	Y	3,20	4,2	-31,36
LAJE MACIÇA L3 5 X 3 m	X	6,69	6,45	3,64
	Y	2,88	4,49	-55,78
LAJE MACIÇA L4 6 X 3 m	X	7,80	6,73	13,76
	Y	2,49	5,04	-102,53

Fonte: Autor (2021).

Observando a Tabela 22, pode-se observar que os valores dos momentos se elevam com o aumento da relação, porém a comparação entre os métodos, permite observar que no método de Bares para a primeira relação $\frac{l_y}{l_x}$ o método do TQS atingiu um valor 17,72% maior referente ao método de Bares.

Com o aumento da relação $\frac{l_y}{l_x}$, o método de Bares consegue ultrapassar os valores de momentos do método do TQS, apenas a partir do terceiro modelo desenvolvido, conseguindo atingir até um valor 13,76% maior, como demonstrado no modelo de laje maciça L4 6 x 3 m.

Afim de manter, o mesmo padrão de comparação para os outros modelos desenvolvidos, temos a Tabela 23, que representa os valores obtidos dos modelos das lajes nervuradas, desenvolvidos.

No primeiro modelo de Laje Nervurada L1 (3m x 3m) a diferença do resultado obtido por Bares é 31,93% menor, referente ao método do TQS. Já a comparação dos resultados no último modelo (Laje Nervurada L4 (6m x 3m), por Bares obteve-se um valor 0,15% menor comparado ao TQS.

Logo, o comportamento dos momentos fletores para os modelos das lajes nervuradas, para a Analogia a Grelha foram todos superiores a analogia de placas, mas a diferença de valores se encontrou numa variação máxima de aproximadamente 32%.

Tabela 23: Valor comparativo dos modelos desenvolvidos em porcentagem.

Comparativo dos Métodos Momentos Máximos (Medidas em kN.m/m)				
LAJE	DIREÇÃO	BARES	TQS	Δ(%)
		M(+)	M(+)	
LAJE NERVURADA L1 3 X 3 m	X	2,85	3,76	-31,93
	Y	2,85	3,76	-31,93
LAJE NERVURADA L2 4 X 3 m	X	4,56	5,63	-23,46
	Y	2,73	3,55	-29,95
LAJE NERVURADA L3 5 X 3 m	X	5,72	6,47	-13,11
	Y	2,46	3,13	-27,10
LAJE NERVURADA L4 6 X 3 m	X	6,67	6,68	-0,15
	Y	2,13	2,92	-37,34

Fonte: Autor (2021).

Os modelos das lajes treliçadas apresentaram comportamento contrário aos modelos das lajes maciças e nervuradas. Para o primeiro modelo de Laje Treliçadas L1 (3 x 3 m), o valor obtido por Bares foi inferior 23,08% comparado com o modelo desenvolvido no TQS. À medida que a relação $\frac{l_y}{l_x}$ aumenta, os resultados obtidos por Bares aumentam e os valor do software diminuem, esse processor pode -se perceber durante os modelos L2, L3 e L4, mostrado na Tabela 24.

O modelo L4 apresenta a maior diferença dos resultados obtidos, onde na Tabela 24 possui uma porcentagem de 50,69% maior do valor obtido por Bares, comparado com o TQS. Por se tratar de modelos de lajes treliçadas unidirecionais, as vigotas treliçadas ficam dispostas na menor direção dos vãos, dessa forma os momentos positivos na maior direção não demonstrados no software TQS, por isso que na Tabela 24, os valores dos momentos positivos na direção Y, estão vazios, o software não disponibilizou resultados nesta direção.

Tabela 24: Comparativos dos modelos das lajes treliçadas em porcentagem.

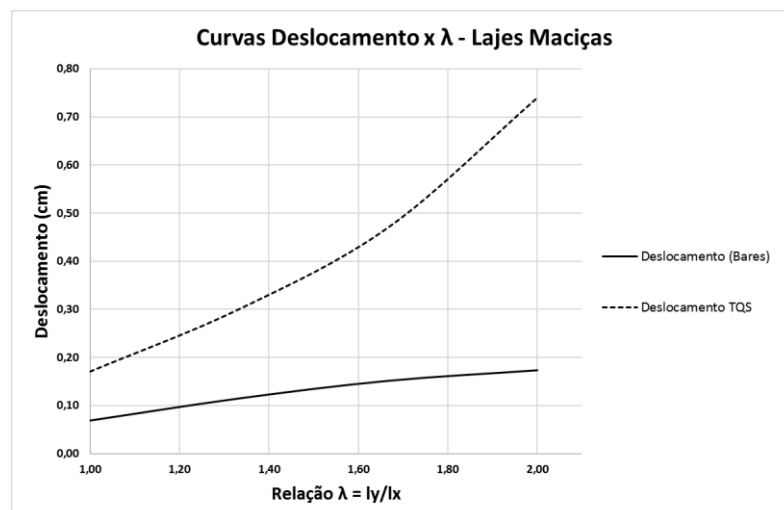
Comparativo dos Métodos Momentos Máximos (Medidas em kN.m/m)				
LAJE	DIREÇÃO	BARES	TQS	$\Delta(\%)$
		M(+)	M(+)	
LAJE TRELIÇADA L1 3 X 3 m	X	2,47	3,04	-23,08
	Y	2,47	-	-
LAJE TRELIÇADA L2 4 X 3 m	X	3,95	2,94	25,57
	Y	2,37	-	-
LAJE TRELIÇADA L3 5 X 3 m	X	4,96	2,85	42,54
	Y	2,14	-	-
LAJE TRELIÇADA L4 6 X 3 m	X	5,78	2,85	50,69
	Y	1,84	-	-

Fonte: Autor (2021).

5.5 COMPARAÇÃO DOS DESLOCAMENTOS DOS MODELOS DAS LAJES MACIÇAS

Assim como desenvolvido para os momentos fletores, a Figura 35 representa os deslocamentos dos modelos de lajes maciças, obtidos para os dois métodos utilizados.

Como pode-se observar na Figura 35, os deslocamentos obtidos pelo software TQS são superiores aos deslocamentos obtidos por Bares. Como demonstrado nos itens anteriores, para todos os modelos de lajes maciças os mesmos atuam no estágio I de deformação, dessa forma a seção não fissura, além disso o cálculo da flecha imediata pode ser calculado pela fórmula da flecha elástica, além do comportamento do estágio I, comente também sobre a indeslocabilidade das vigas na tabela de Bares.

Figura 35: Curva deslocamento $\times \frac{l_y}{l_x}$ dos modelos de lajes maciças.

Fonte: Autor (2021).

Afim de melhor representar os resultados obtidos na Figura 35, a Tabela 25 apresenta a diferença dos valores em porcentagem. Pode-se perceber que à medida que se aumenta a relação $\frac{l_y}{l_x}$, os valores das flechas obtidos também aumentam. Outra característica predominante é que as flechas obtidas pelo software, possuem diferenças expressivas referentes as flechas obtidas por Bares.

Essa característica pode se dar pelo fato de que em Bares as vigas não se deslocarem, além disso, foi observado, que quanto maior o momento fletor, os deslocamentos são menores, isso acontece pelo fato da estrutura se caracterizar como uma estrutura mais rígida. Já os modelos, com momentos fletores menores seus deslocamentos são bem superiores, visto que a estrutura se caracteriza com uma estrutura pouco rígida.

Tabela 25: Comparativos dos resultados obtidos para as flechas das lajes maciças, em porcentagem.

LAJE	FLECHA TQS (cm)	FLECHA BARES (cm)	$\Delta(\%)$
LAJE MACIÇA L1 3 X 3 m	0,17	0,07	59,14
LAJE MACIÇA L2 4 X 3 m	0,3	0,12	61,58
LAJE MACIÇA L3 5 X 3 m	0,47	0,15	67,71
LAJE MACIÇA L4 6 X 3 m	0,74	0,17	76,55

Fonte: Autor (2021).

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho teve como principal objetivos comparar os modelos de diferentes tipos de lajes, com vãos variados, comparando os valores de momentos fletores positivos e observando seu comportamento, à medida que o vão variava e com o tipo de laje. Além disso, também foi possível analisar os resultados obtidos para os deslocamentos das lajes maciças especificamente.

Os resultados que foram obtidos, permitiram identificar os parâmetros que influenciam no momento fletor de uma laje, além observar o comportamento desses momentos. Os deslocamentos para as lajes maciças também mostraram o comportamento destes tipos de lajes submetidas aos carregamentos levantados.

Para as lajes maciças, os momentos fletores demonstraram um comportamento onde suas curvas crescem à medida que a relação $\frac{l_y}{l_x}$ aumenta, tanto para o método de Bares, como também pelo TQS (método analogia a grelha). Como já demonstrado acima, os momentos fletores para o método de Bares iniciam inferiores 17,72% em relação ao TQS, porém com a variação dos vãos, os valores ultrapassam os resultados obtidos pelo TQS, chegando a um valor máximo de 7,80 kN.m/m, correspondendo a 13,76% acima comparada a analogia a grelha. A explicação também para ter obtido os maiores valores de momentos está relacionado ao peso próprio da laje, que para os modelos das lajes maciças, são maiores, pois não possuem espaços vazios (lajes nervuradas cubetas) ou regiões com materiais inertes (lajes treliçadas preenchimento EPS).

Os resultados para as lajes nervuradas demonstraram comportamento diferente as lajes maciças, como já citadas os valores dos momentos foram inferiores, entretanto, comparado os modelos de lajes treliçadas por Bares e Analogia a grelha é possível identificar um comportamento de crescimento por Bares e também por parte do TQS. Como pode-se perceber na Tabela 23, os valores por analogia a grelha passaram de 3,76 kN.m/m para 6,68 kN.m/m, este último valor representa 0,15% maior que o resultado obtido para o método de Bares para o mesmo modelo (Laje Nervurada L4 6 x 3 m).

As lajes treliçadas, obtiveram os menores valores de momentos fletores, para todos os modelos desenvolvidos comparada as lajes maciças e lajes nervuradas, isso se explica pelo fato deste tipo de laje possuir o menor peso próprio, solicitando a estrutura com cargas menores. Porém o seu comportamento tanto por Bares e por parte do TQS (analogia a grelha) se diferenciou dos modelos das lajes maciças e nervuradas. Como já explicado, os momentos na direção Y para o método de analogia a grelha não foram obtidos pelo fato de o software não

introduzir os mesmos, isso acontece pelo fato das vigotas treliçadas estarem dispostas na direção do menor vão. Como exemplo temos que os valores para na direção X, onde que o máximo obtido por Bares superou o resultado do software em 50,69%.

Os resultados dos deslocamentos, foram obtidos somente para as lajes maciças, visto que o presente trabalho se limitou apenas para estes modelos. Como já demonstrada a seção em que da laje atua no estágio I, ou seja, a peça se caracteriza como não fissurada. Por essa característica, as flechas imediatas podem ser obtidas pelo cálculo da flecha elástica. Além disso, foi considerado a fator de Fluência para o cálculo da flecha final. Como pode-se observar na Tabela 25, os resultados obtidos pela analogia a grelha foram superiores aos de Bares, chegando a uma diferença máxima de até 76,55%.

Esse resultado expressivo se deu principalmente pelo fato do TQS considerar a deformação nos apoios, gerando flechas superior ao método de Bares, e comparando as flechas totais por Bares e analogia grelha, para atender ao ELS é necessário considerar não só a laje em si, mas também os deslocamentos em seus apoios. (PINHEIRO, 2016).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 6118**: projeto de estruturas de concreto – procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2014.

CROZADA, Luciano. **ESTUDO DA VIABILIDADE DE USO DO MODELO EM TRELIÇA ESPACIAL PARA ANÁLISE DE LAJES EM CONCRETO ARMADO**. 2013. 111 f. TCC (Graduação) - Curso de Graduação em Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2013.

DUARTE, Rosália. PESQUISA QUALITATIVA: REFLEXÕES SOBRE O TRABALHO DE CAMPO. **Cadernos de Pesquisa**, Rio de Janeiro, n. 115, p. 139-154, mar. 2002.

MORAES, Marco Aurélio Faccio. **ESTUDO COMPARATIVO DE CUSTOS ENTRE TRÊS TIPOS DE LAJES (MACIÇA, VIGOTA TRELIÇADA E NERVURADA COM CUBETAS PLÁSTICAS) DA NOVA REITORIA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO TOCANTINS (UFT)**. 2020. 96 f. TCC (Graduação) - Curso de Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Tocantins, Palmas, 2020.

OLIVEIRA, Murylo Rodrigues Cândido de *et al.* Estudo comparativo da estabilidade global em diferentes tipos de lajes. **Technology Science**, Marabá, v. 2, n. 1, p. 28-32, jan. 2020.

OTONI, Thieres Rodrigues; ABI-ACKEL, Edmundo. ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE SISTEMAS ESTRUTURAIS: laje maciça e laje nervurada. **Revista Petra**, v. 1, n. 1, p. 125-154, jun. 2015.

PINHEIRO, Guilherme. **ANÁLISE COMPARATIVA DE DOIS TIPOS DE LAJES COM ÊNFASE NA INFLUÊNCIA DO VÃO E DO CARREGAMENTO NO ESTADO LIMITE DE DEFORMAÇÕES EXCESSIVAS**. 2016. 96 f. TCC (Graduação) - Curso de Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2016.

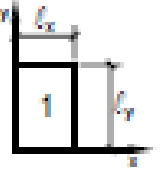
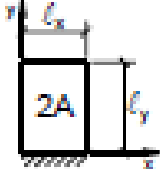
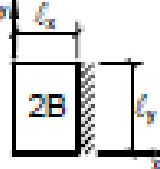
PINHEIRO, Libânio Miranda. **FUNDAMENTOS DO CONCRETO E PROJETO DE EDIFÍCIOS**. São Carlos: EESC-USP, 2007.

RODRIGUES, Camilla Bezerra. **ESTUDO DE FLECHAS EM LAJES MACIÇAS DE CONCRETO ARMADO**. 2020. 66 f. TCC (Graduação) - Curso de Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2020.

SOUZA, Caroline Gonçalves Silva e; LOPES, Rayane Campos. **ESTUDO COMPARATIVO ENTRE LAJE MACIÇA CONVENCIONAL E LAJES NERVURADAS**. 2016. 134 f. TCC (Graduação) - Curso de Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2016.

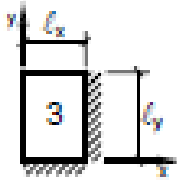
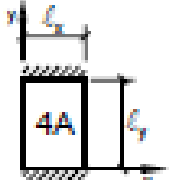
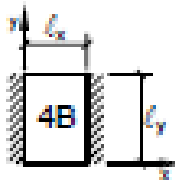
ANEXO A – TABELAS DE BARES PARA MOMENTOS FLETORES EM LAJES

Tabela 26: Tabela desenvolvida por Bares (1972).

Tabela 2.3a									
MOMENTOS FLETORES EM LAJES COM CARGA UNIFORME									
Tipo									Tipo
$\lambda = \frac{\ell_y}{\ell_x}$	μ_x	μ_y	μ_x	μ_y	μ'_y	μ_x	μ'_x	μ_y	$\lambda = \frac{\ell_y}{\ell_x}$
1,00	4,23	4,23	2,91	3,54	8,40	3,54	8,40	2,91	1,00
1,05	4,62	4,25	3,26	3,64	8,79	3,77	8,79	2,84	1,05
1,10	5,00	4,27	3,61	3,74	9,18	3,99	9,17	2,76	1,10
1,15	5,38	4,25	3,98	3,80	9,53	4,19	9,49	2,68	1,15
1,20	5,75	4,22	4,35	3,86	9,88	4,38	9,80	2,59	1,20
1,25	6,10	4,17	4,72	3,89	10,16	4,55	10,06	2,51	1,25
1,30	6,44	4,12	5,09	3,92	10,41	4,71	10,32	2,42	1,30
1,35	6,77	4,06	5,44	3,93	10,64	4,86	10,54	2,34	1,35
1,40	7,10	4,00	5,79	3,94	10,86	5,00	10,75	2,25	1,40
1,45	7,41	3,95	6,12	3,91	11,05	5,12	10,92	2,19	1,45
1,50	7,72	3,89	6,45	3,88	11,23	5,24	11,09	2,12	1,50
1,55	7,99	3,82	6,76	3,85	11,39	5,34	11,23	2,04	1,55
1,60	8,26	3,74	7,07	3,81	11,55	5,44	11,36	1,95	1,60
1,65	8,50	3,66	7,28	3,78	11,67	5,53	11,48	1,87	1,65
1,70	8,74	3,58	7,49	3,74	11,79	5,61	11,60	1,79	1,70
1,75	8,95	3,53	7,53	3,69	11,88	5,68	11,72	1,74	1,75
1,80	9,16	3,47	7,56	3,63	11,96	5,75	11,84	1,68	1,80
1,85	9,35	3,38	8,10	3,58	12,05	5,81	11,94	1,67	1,85
1,90	9,54	3,29	8,63	3,53	12,14	5,86	12,03	1,59	1,90
1,95	9,73	3,23	8,86	3,45	12,17	5,90	12,08	1,54	1,95
2,00	9,91	3,16	9,08	3,36	12,20	5,94	12,13	1,48	2,00
> 2,00	12,50	3,16	12,50	3,36	12,20	7,03	12,50	1,48	> 2,00
Valores extraídos de BARES (1972) e adaptados por L.M. Pinheiro.									
$m = \mu \frac{p \ell_x^2}{100}$ p = carga uniforme ℓ_x = menor vão									

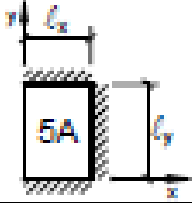
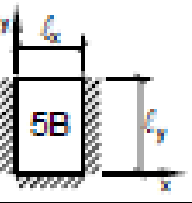
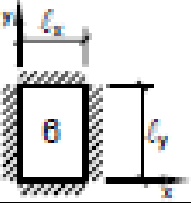
Fonte: Bares (1972) apud Pinheiro (2007).

Tabela 27: Continuação da tabela de Bares (1972).

Tabela 2.3b											
MOMENTOS FLETORES EM LAJES COM CARGA UNIFORME											
Tipo											Tipo
$\lambda = \frac{\ell_y}{\ell_x}$	μ_x	μ'_x	μ_y	μ'_y	μ_x	μ_y	μ'_y	μ_x	μ'_x	μ_y	$\lambda = \frac{\ell_y}{\ell_x}$
1,00	2,69	6,99	2,69	6,99	2,01	3,09	6,99	3,09	6,99	2,01	1,00
1,05	2,94	7,43	2,68	7,18	2,32	3,23	7,43	3,22	7,20	1,92	1,05
1,10	3,19	7,87	2,67	7,36	2,63	3,36	7,87	3,35	7,41	1,83	1,10
1,15	3,42	8,28	2,65	7,50	2,93	3,46	8,28	3,46	7,56	1,73	1,15
1,20	3,65	8,69	2,62	7,63	3,22	3,56	8,65	3,57	7,70	1,63	1,20
1,25	3,86	9,03	2,56	7,72	3,63	3,64	9,03	3,66	7,82	1,56	1,25
1,30	4,06	9,37	2,50	7,81	3,99	3,72	9,33	3,74	7,93	1,49	1,30
1,35	4,24	9,65	2,45	7,88	4,34	3,77	9,69	3,80	8,02	1,41	1,35
1,40	4,42	9,93	2,39	7,94	4,69	3,82	10,00	3,86	8,11	1,33	1,40
1,45	4,58	10,17	2,32	8,00	5,03	3,86	10,25	3,91	8,13	1,26	1,45
1,50	4,73	10,41	2,25	8,06	5,37	3,90	10,49	3,96	8,15	1,19	1,50
1,55	4,86	10,62	2,18	8,09	5,70	3,90	10,70	4,00	8,20	1,14	1,55
1,60	4,99	10,82	2,07	8,12	6,03	3,89	10,91	4,04	8,25	1,08	1,60
1,65	5,10	10,99	1,99	8,14	6,35	3,85	11,08	4,07	8,28	1,03	1,65
1,70	5,21	11,16	1,91	8,15	6,67	3,81	11,24	4,10	8,30	0,98	1,70
1,75	5,31	11,30	1,85	8,16	6,97	3,79	11,39	4,12	8,31	0,95	1,75
1,80	5,40	11,43	1,78	8,17	7,27	3,76	11,53	4,14	8,32	0,91	1,80
1,85	5,48	11,55	1,72	8,17	7,55	3,72	11,65	4,15	8,33	0,87	1,85
1,90	5,56	11,67	1,66	8,18	7,82	3,67	11,77	4,16	8,33	0,83	1,90
1,95	5,63	11,78	1,63	8,19	8,09	3,60	11,83	4,16	8,33	0,80	1,95
2,00	5,70	11,89	1,60	8,20	8,35	3,52	11,88	4,17	8,33	0,76	2,00
> 2,00	7,03	12,50	1,60	8,20	12,50	3,52	11,88	4,17	8,33	0,76	> 2,00
Valores extraídos de BARES (1972) e adaptados por L.M. Pinheiro.											
$m = \mu \frac{p \ell_x^2}{100}$ p = carga uniforme ℓ_x = menor vão											

Fonte: Bares (1972) apud Pinheiro (2007).

Tabela 28: Continuação da tabela de Bares (1972).

Tabela 2.3c													
MOMENTOS FLETORES EM LAJES COM CARGA UNIFORME													
Tipo													Tipo
$\lambda = \frac{l_y}{l_x}$	μ_x	μ'_x	μ_y	μ'_y	μ_x	μ'_x	μ_y	μ'_y	μ_x	μ'_x	μ_y	μ'_y	$\lambda = \frac{l_y}{l_x}$
1,00	2,02	5,46	2,52	6,17	2,52	6,17	2,02	5,46	2,02	5,15	2,02	5,15	1,00
1,05	2,27	5,98	2,56	6,46	2,70	6,47	1,97	5,56	2,22	5,50	2,00	5,29	1,05
1,10	2,52	6,50	2,60	6,75	2,87	6,76	1,91	5,65	2,42	5,85	1,98	5,43	1,10
1,15	2,76	7,11	2,63	6,97	3,02	6,99	1,84	5,70	2,65	6,14	1,94	5,51	1,15
1,20	3,00	7,72	2,65	7,19	3,16	7,22	1,77	5,75	2,87	6,43	1,89	5,59	1,20
1,25	3,23	8,31	2,64	7,36	3,28	7,40	1,70	5,75	2,97	6,67	1,83	5,64	1,25
1,30	3,45	8,89	2,61	7,51	3,40	7,57	1,62	5,76	3,06	6,90	1,77	5,68	1,30
1,35	3,66	9,44	2,57	7,63	3,50	7,70	1,55	5,75	3,19	7,09	1,71	5,69	1,35
1,40	3,86	9,88	2,53	7,74	3,59	7,82	1,47	5,74	3,32	7,28	1,65	5,70	1,40
1,45	4,05	10,16	2,48	7,83	3,67	7,91	1,41	5,73	3,43	7,43	1,57	5,71	1,45
1,50	4,23	10,44	2,43	7,91	3,74	8,00	1,35	5,72	3,53	7,57	1,49	5,72	1,50
1,55	4,39	10,68	2,39	7,98	3,80	8,07	1,29	5,69	3,61	7,68	1,43	5,72	1,55
1,60	4,55	10,91	2,34	8,02	3,86	8,14	1,23	5,66	3,69	7,79	1,36	5,72	1,60
1,65	4,70	10,13	2,28	8,03	3,91	8,20	1,18	5,62	3,76	7,88	1,29	5,72	1,65
1,70	4,84	10,34	2,22	8,10	3,95	8,25	1,13	5,58	3,83	7,97	1,21	5,72	1,70
1,75	4,97	10,53	2,15	8,13	3,99	8,30	1,07	5,56	3,88	8,05	1,17	5,72	1,75
1,80	5,10	10,71	2,08	8,17	4,02	8,34	1,00	5,54	3,92	8,12	1,13	5,72	1,80
1,85	5,20	10,88	2,02	8,16	4,05	8,38	0,97	5,55	3,96	8,18	1,07	5,72	1,85
1,90	5,30	11,04	1,96	8,14	4,08	8,42	0,94	5,56	3,99	8,24	1,01	5,72	1,90
1,95	5,40	11,20	1,88	8,13	4,10	8,45	0,91	5,60	4,02	8,29	0,99	5,72	1,95
2,00	5,50	11,35	1,80	8,12	4,12	8,47	0,88	5,64	4,05	8,33	0,96	5,72	2,00
> 2,00	7,03	12,50	1,80	8,12	4,17	8,33	0,88	5,64	4,17	8,33	0,96	5,72	> 2,00
Valores extraídos de BARES (1972) e adaptados por L.M. Pinheiro.													
$m = \mu \frac{p l_x^2}{100}$				p = carga uniforme				l_x = menor vão					

Fonte: Bares (1972) apud Pinheiro (2007).

ANEXO B – TABELA DE BARES PARA CALCULO DE FLECHAS EM LAJES

Tabela 29: Tabela desenvolvida por Bares (1972), para cálculo das flechas em lajes.

Tabela 2.5a									
FLECHAS EM LAJES COM CARGA UNIFORME – VALORES DE α									
$\lambda = \frac{\ell_y}{\ell_x}$	Tipo de Laje								
	1	2A	2B	3	4A	4B	5A	5B	6
1,00	4,76	3,26	3,26	2,46	2,25	2,25	1,84	1,84	1,49
1,05	5,26	3,68	3,48	2,72	2,60	2,35	2,08	1,96	1,63
1,10	5,74	4,11	3,70	2,96	2,97	2,45	2,31	2,08	1,77
1,15	6,20	4,55	3,89	3,18	3,35	2,53	2,54	2,18	1,90
1,20	6,64	5,00	4,09	3,40	3,74	2,61	2,77	2,28	2,02
1,25	7,08	5,44	4,26	3,61	4,14	2,68	3,00	2,37	2,14
1,30	7,49	5,88	4,43	3,80	4,56	2,74	3,22	2,46	2,24
1,35	7,90	6,32	4,58	3,99	5,01	2,77	3,42	2,53	2,34
1,40	8,29	6,74	4,73	4,15	5,41	2,80	3,62	2,61	2,41
1,45	8,67	7,15	4,87	4,31	5,83	2,85	3,80	2,67	2,49
1,50	9,03	7,55	5,01	4,46	6,25	2,89	3,98	2,73	2,56
1,55	9,39	7,95	5,09	4,61	6,68	2,91	4,14	2,78	2,62
1,60	9,71	8,32	5,18	4,73	7,06	2,92	4,30	2,82	2,68
1,65	10,04	8,68	5,22	4,86	7,46	2,92	4,45	2,83	2,73
1,70	10,34	9,03	5,26	4,97	7,84	2,93	4,59	2,84	2,77
1,75	10,62	9,36	5,36	5,06	8,21	2,93	4,71	2,86	2,81
1,80	10,91	9,69	5,46	5,16	8,58	2,94	4,84	2,88	2,85
1,85	11,16	10,00	5,53	5,25	8,93	2,94	4,96	2,90	2,88
1,90	11,41	10,29	5,60	5,33	9,25	2,95	5,07	2,92	2,90
1,95	11,65	10,58	5,68	5,41	9,58	2,95	5,17	2,94	2,93
2,00	11,89	10,87	5,76	5,49	9,90	2,96	5,28	2,96	2,96
∞	15,63	15,63	6,50	6,50	15,63	3,13	6,50	3,13	3,13

Valores extraídos de BARES (1972) e adaptados por L.M. Pinheiro.

$$\alpha = \frac{\alpha}{100} \cdot \frac{b}{12} \cdot \frac{p \ell_x^4}{E_c I}$$

b = largura da seção

ℓ_x = menor vão

E_c = módulo de elasticidade

p = carga uniforme

ℓ_y = maior vão

I = momento de inércia

Fonte: Bares (1972) apud Pinheiro (2007).