



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

FRANCISCO EDVAR LIMA JÚNIOR

**ANÁLISE DA CONTRIBUIÇÃO DE VIGOTAS TRANSVERSAIS NA RIGIDEZ DE
LAJES TRELIÇADAS**

PAU DOS FERROS - RN

2020

FRANCISCO EDVAR LIMA JÚNIOR

ANÁLISE DA CONTRIBUIÇÃO DE VIGOTAS TRANSVERSAIS NA RIGIDEZ
DE LAJES TRELIÇADAS

Monografia apresentada a Universidade
Federal Rural do Semi-Árido como
requisito para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Matheus Fernandes
de Araújo Silva

PAU DOS FERROS - RN

2020

© 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.

J95a JUNIOR, FRANCISCO EDVAR LIMA.
ANÁLISE DA CONTRIBUIÇÃO DE VIGOTAS
TRANSVERSAIS NA RIGIDEZ DE LAJES TRELIÇADAS /
FRANCISCO EDVAR LIMA JUNIOR. - 2020.
65 f. : il.

Orientador: MATHEUS FERNANDES DE ARAÚJO SILVA.
Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de Engenharia Civil,
2020.

1. Laje treliçada. 2. Deslocamento. 3. Vigotas
transversais. 4. Tipologias. I. SILVA, MATHEUS
FERNANDES DE ARAÚJO, 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 Curso Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

FRANCISCO EDVAR LIMA JÚNIOR

**ANÁLISE DA CONTRIBUIÇÃO DE VIGOTAS TRANSVERSAIS NA RIGIDEZ
DE LAJES TRELIÇADAS**

Monografia apresentada a
Universidade Federal Rural do Semi-
Árido como requisito para obtenção
do título de Bacharel em Engenharia
Civil.

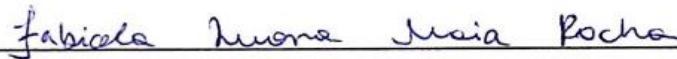
APROVADA EM: 31 / 01 / 2020.

BANCA EXAMINADORA



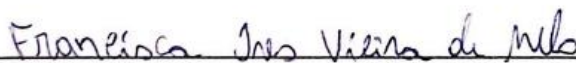
Prof. Dr. Matheus Fernandes de Araújo Silva (UFERSA)

PRESIDENTE



Prof. Esp. Fabíola Luana Maia Rocha (UFERSA)

PRIMEIRO MEMBRO



Prof. Esp. Francisca Ires Vieira de Melo (UFERSA)

SEGUNDO MEMBRO

RESUMO

O desenvolvimento das tecnologias apresentam resultados que ajudam progressivamente os estudantes e profissionais da engenharia, criando ferramentas computacionais cada vez mais usuais para que facilitem os estudos. No Brasil, não existia estudos aprofundados sobre lajes formadas por vigotas treliçadas, somente catálogos de fabricantes tratavam um pouco do assunto. Por meio deste, o referente trabalho utilizou o software SAP2000 para realizar estudos de três tipologias de lajes distintas, em que variou-se o comprimento do vão para cada modelo e a quantidade de vigotas transversais com o objetivo de verificar o comportamento da laje com a variação da quantidade de vigotas transversais. Nos resultados obtidos por meio do SAP2000 verificou-se um comportamento ideal para lajes bidirecionais, pois a medida que aumentava-se a quantidade de vigotas o deslocamento diminuía. Já, para lajes unidirecionais a medida que aumentava a quantidade de vigotas o deslocamento progredia, sendo explicado pela literatura que as vigotas transversais possuem mais influência quando a estrutura está submetida a uma carga acidental mais elevada. Portanto, o estudo é satisfatório para projetos estruturais em que seja dispostas lajes formadas por vigotas treliçadas para informar o comportamento da mesma.

Palavras-chave: Laje treliçada. Deslocamento. Vigotas transversais. Tipologias.

ABSTRACT

The development of technology presents results that progressively help students and engineering professionals, creating computational tools that are more and more common to facilitate studies. In Brazil, there were no in-depth studies on slabs formed by lattice joists, only manufacturers' catalogs dealt with the subject a little. Through this, the referred work used the SAP2000 software to carry out studies of three different types of slabs, in which the span length was varied for each model and the number of transversal joists in order to verify the behavior of the slab with the variation in the number of transverse joists. The results obtained through SAP2000 showed an ideal behavior for bidirectional slabs, because as the number of joists increased, the displacement decreased. For unidirectional slabs, however, as the number of joists increased, the displacement progressed, being explained by the literature that transverse joists have more influence when the structure is subjected to a higher accidental load. Therefore, the study is satisfactory for structural projects in which slabs formed by lattice joists are placed to inform the behavior of the same.

Keywords: Lattice slab. Displacement. Transverse joists. Typologies

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a deus, por toda a proteção a mim concedida, por possibilitar a realização desse trabalho, pela saúde e dedicação a mim oferecida.

Gratifico toda a minha família pelo apoio e pelo que sou hoje. Agradeço e tenho sorte em ter minha amada mãe (Tatiana) que me concede a cada ano um pouco de sabedoria para enxergar e continuar enxergando a importância do amor, da amizade, humildade, tolerância e respeito para me tornar um bom ser humano. Sou grato ao meu pai (Edvar), por todo o apoio a mim concedido e por ser uma referência em minha vida. Ao meu irmão (Eduardo), agradeço a toda a força e amor a mim concedida, sendo esta, um impulso que me dá forças para continuar a jornada.

Amigos são a prova de que sorrisos devem ser compartilhados e que alguns pesos não precisam ser carregados sozinhos, com isso agradeço todo apoio e carinho de Elane Viana, Gerbesson Lucas, Luis Augusto e Sávio Matos por estarem junto comigo desde a ideia de cursar uma faculdade e vencer até o fim. Aos amigos advindo da minha segunda cidade agradeço todo o apoio nas dificuldades que a vida de estudante acarreta (Álvaro Felipe, Brígido Conrado, Bruna Dantas, Cayo Ravel, Eliomar Rabelo, João Lucas, Mirelly Anny, Pedro David, Sebastião Costa, Thallysmara Moura, Waleskha Benevenuto. Muito Obrigado.

Meu muito obrigado agora vai para meu orientador Matheus Fernandes que além de tudo é um grande amigo que esses anos de faculdade me presenteou. Te parablenizo pelo grande profissionalismo, que não mediu esforços para ajudar a desenvolver esse trabalho da melhor maneira possível.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Representação da treliças das vigotas e sua disposição na laje.	13
Figura 2: Disposição e sentido das vigotas treliçadas na laje.	16
Figura 3: Utilização de barras de aço como nervuras transversais.	18
Figura 4: Canaletas multifuncional para a concretagem de vigotas transversais.	18
Figura 5: Disposição das canaletas em lajes formadas por blocos de alvenaria.	19
Figura 6: Aparecimento de fissuras com a utilização de lajes treliçadas em forma de L.	20
Figura 7: Analogia do pavimento com uma grelha equivalente.	22
Figura 8: Área de influência referente a cada nó da grelha.	23
Figura 9: Carregamento distribuído uniformemente nas barras da grelha.	23
Figura 10: Seções de análise variando a altura.	25
Figura 11: Vigota treliçada com a atuação de um momento positivo.	29
Figura 12: Vigota treliçada com a atuação de um momento negativo.	29
Figura 13: Dimensões dos elementos estruturais	32
Figura 14: Seção transversal da vigota treliçada.	32
Figura 15: Combinação de ação no estado limite último no SAP2000.	34
Figura 16: Combinação de ação no estado limite de serviço no SAP2000.	35
Figura 17: Seção transversal da vigota treliçada com os devidos eixos locais e globais.	36
Figura 18: Liberação dos momentos 22 e 33 para as extremidades dos elementos.	36
Figura 19: Redução da constante de torção em 85% no SAP2000.	37
Figura 20: Vigotas treliçadas dividida em 20 elementos finitos.	38
Figura 21: Modelo de referência 1.	38
Figura 22: Modelo de referência 2.	39
Figura 23: Modelo de referência 3.	40
Figura 24: Modelo 3D da laje MR1.	41
Figura 25: Deslocamento obtido no centro do MR1 em milímetros.	42
Figura 26: Modelo 3D da laje MR1VT1.	43
Figura 27: Deslocamento obtido no centro do MR1VT1 em milímetros.	43

Figura 28: Modelo 3D da laje MR1VT2.	44
Figura 29: Deslocamento obtido no centro do MR1VT2 em milímetros.	45
Figura 30: Modelo 3D da laje MR1VT3.	46
Figura 31: Deslocamento obtido no centro do MR1VT3 em milímetros.	46
Figura 32: Modelo 3D da laje MR2.	47
Figura 33: Deslocamento obtido no centro do MR2 em milímetros.	48
Figura 34: Modelo 3D da laje MR2VT1.	49
Figura 35: Deslocamento obtido no centro do MR2VT1 em milímetros.	49
Figura 36: Modelo 3D da laje MR2VT2.	50
Figura 37: Deslocamento obtido no centro do MR2VT2 em milímetros.	51
Figura 38: Modelo 3D da laje MR2VT3.	52
Figura 39: Deslocamento obtido no centro do MR2VT3 em milímetros.	52
Figura 40: Modelo 3D da laje MR3.	53
Figura 41: Deslocamento obtido no centro do MR3 em milímetros.	54
Figura 42: Modelo 3D da laje MR3VT1.	54
Figura 43: Deslocamento obtido no centro do MR3VT1 em milímetros.	55
Figura 44: Modelo 3D da laje MR3VT2.	56
Figura 45: Deslocamento obtido no centro do MR3VT2 em milímetros.	56
Figura 46: Modelo 3D da laje MR3VT3.	57
Figura 47: Deslocamento obtido no centro do MR3VT3 em milímetros.	58
Figura 48: Série de Modelos 1.	59
Figura 49: Série de Modelos 2.	60
Figura 50: Série de Modelos 3.	61

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Cargas consideradas para as ações na laje.....	33
Tabela 2: Modelo de Referência 1.	58
Tabela 3: Série de Modelos 2.....	59
Tabela 4: Modelo de Referência 3.	60

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

<i>MR1</i>	Modelo de Referência 1.
<i>MR2</i>	Modelo de Referência 2.
<i>MR3</i>	Modelo de Referência 3.
<i>MR1VT1</i>	Modelo de Referência 1 com uma vigota transversal.
<i>MR1VT2</i>	Modelo de Referência 1 com duas vigotas transversais.
<i>MR1VT3</i>	Modelo de Referência 1 com três vigotas transversais.
<i>MR2VT1</i>	Modelo de Referência 2 com uma vigota transversal.
<i>MR2VT2</i>	Modelo de Referência 2 com duas vigotas transversais.
<i>MR2VT3</i>	Modelo de Referência 2 com três vigotas transversais.
<i>MR3VT1</i>	Modelo de Referência 3 com uma vigota transversal.
<i>MR3VT2</i>	Modelo de Referência 3 com duas vigotas transversais.
<i>MR3VT3</i>	Modelo de Referência 3 com três vigotas transversais.

SUMÁRIO

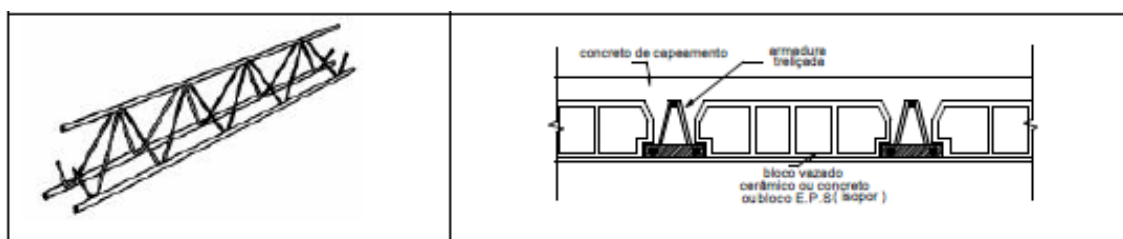
1. INTRODUÇÃO	13
1.1. OBJETIVOS	15
1.1.1. Objetivo Geral	15
1.1.2. Objetivo Específico	15
2. REFERENCIAL TEÓRICO	16
2.1. ANÁLISE ESTRUTURAL	16
2.1.1. Comportamento unidirecional x bidirecional.....	17
2.1.2. Vigotas transversais em lajes unidirecionais	17
2.1.3. Vigotas transversais em lajes bidirecionais	20
2.2. NÃO LINEARIDADE FÍSICA	20
2.3. ANALOGIA DE GRELHA	22
2.4. DIMENSIONAMENTO	24
2.4.1. Estado Limite de Serviço	24
2.4.2. Estado Limite Ultimo	28
3. METODOLOGIA.....	32
3.1. SEÇÕES E MATERIAIS UTILIZADOS	32
3.2. CARREGAMENTOS UTILIZADOS	33
3.3. MODELOS DE LAJE UTILIZADO NA ANÁLISE	35
3.3.1. Modelo de Referência 1 (MR1).....	38
3.3.2. Modelo de Referência 2 (MR2).....	39
3.3.3. Modelo de Referência 3 (MR3).....	39
4. RESULTADOS	41
4.1. INFLUÊNCIA DAS VIGOTAS TRANSVERSAIS NO MODELO DE REFERÊNCIA 1	41
4.1.1. Modelo de Referência 1 com uma vigota transversal (MR1VT1) 42	
4.1.2. Modelo de Referência 1 com duas vigotas transversais (MR1VT2).....	44
4.1.3. Modelo de Referência 1 com três vigotas transversais (MR1VT3) 45	
4.2. INFLUÊNCIA DAS VIGOTAS TRANSVERSAIS NO MODELO DE REFERÊNCIA 2	47

4.2.1. Modelo de Referência 2 com uma vigota transversal (MR2VT1)	48
4.2.2. Modelo de Referência 2 com duas vigotas transversais (MR2VT2).....	50
4.2.3. Modelo de Referência 2 com três vigotas transversais (MR2VT3)	51
4.3. INFLUÊNCIA DAS VIGOTAS TRANSVERSAIS NO MODELO DE REFERÊNCIA 3	53
4.3.1. Modelo de Referência 3 com uma vigota transversal (MR3VT1)	54
4.3.2. Modelo de Referência 3 com duas vigotas transversais (MR3VT2).....	55
4.3.3. Modelo de Referência 3 com três vigotas transversais (MR3VT3)	57
4.4. ANÁLISE DOS RESULTADOS	58
5. CONCLUSÃO.....	62
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	63

1. INTRODUÇÃO

Anteriormente, o profissional de engenharia estava desamparado em desenvolver um projeto de lajes pré-fabricadas com o uso de vigotas devido à falta de normatização para essas estruturas. No Brasil existia somente catálogos de fabricantes que tratavam um pouco do assunto, mas com pouco conteúdo técnico disponível. Carvalho (2005) afirma que iniciou-se a utilização de lajes nervuradas no Brasil com armaduras treliçadas, sendo obtida por meio de uma máquina para passar os fios de aço e formar as diagonais da treliça, como ilustra na Figura 1.

Figura 1: Representação da treliças das vigotas e sua disposição na laje.



Fonte: Carvalho (2005)

Ao se projetar estruturas composta por lajes, vigas e pilares, faz-se necessário uma definição inicialmente do tipo de pavimento a ser executado e qual a sua finalidade. Essa escolha depende do vão a vencer e das ações que a mesma está submetida (SILVA 2005). O sistema estrutural deve ser projetado para atender todas as recomendações exigidas pelo pavimento em análise, obedecendo as disposições normativas.

Uma solução bastante usual é a utilização de vigotas treliçadas na execução de lajes, onde a mesma é nomeada de laje treliçada. Buiate (2005) mostra que as mesmas são utilizadas para vencer vãos de 4 a 12 metros de comprimento, variando sempre a altura da laje entre 10 a 25 centímetro de altura. Nos projetos estruturais de edificações usuais, que apresentam o menor vão a ser vencido classificado como pequeno ou médio, ocorre um aumento de produtividade devido a fácil execução comparado com outras tipologias como a laje maciça.

Assim, a utilização de lajes nervuradas é uma alternativa cativante, sendo as nervuras dispostas em uma ou duas direções. Souza e Oliveira (2011)

afirmam que parte do concreto abaixo da linha neutra é eliminado sendo substituído por um material de enchimento, sendo normal a utilização de blocos de poliestireno expandido (EPS).

Uma das principais vantagens deste tipo de laje é a redução do volume de concreto devido a utilização dos blocos de enchimentos. Dessa forma, o peso próprio da estrutura é reduzido mesmo que apresente maior altura final comparado com a laje maciça. Algumas desvantagens também estão associadas a essa estrutura, como: a baixa rigidez e ductilidade caso seja disposto em zonas sísmicas, maior facilidade de atingir o estado limite de serviço devido ao aumento dos deslocamentos verticais excessivos comparado com as lajes maciça (SACRAMENTO, PICANÇO E OLIVEIRA, 2018).

1.1. OBJETIVOS

1.1.1. Objetivo Geral

Avaliar a interferência das vigotas transversais em termos quantitativos nos deslocamentos máximos de lajes treliçadas.

1.1.2. Objetivo Específico

- Desenvolver modelos estruturais de laje com diferentes tipologias geométricas utilizando o SAP2000;
- Avaliar a quantidade de vigotas transversais e o seu impacto nos deslocamentos máximos para diferentes tipologias geométricas;

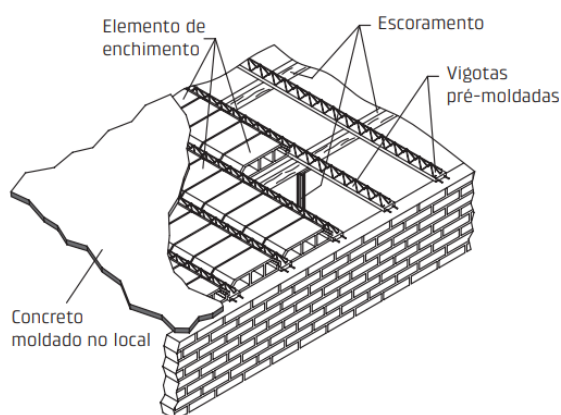
2. REFERENCIAL TEÓRICO

As lajes treliçadas partem de um avanço das lajes maciças, devido a redução do concreto excedente abaixo da linha neutra trazendo algumas melhorias para o dimensionamento da estrutura como a diminuição do peso próprio. Logo, essa remoção do concreto abaixo da linha neutra deve ser controlado, pois é necessário a utilização de nervuras para que seja disposta a armadura de tração da laje, assim como os elementos de enchimentos para preencher os vazios entre as vigotas.

As lajes trabalham de forma monolítica, ou seja, as nervuras se unem com a capa de concreto que se consolidam. É possível aumentar a altura do elemento sem um aumento significativo do peso próprio, logo este sistema permite um maior braço de alavanca até mesmo comparado com as lajes maciças (MEDRANO, FIGUEIREDO FILHO E CARVALHO 2005).

As vigotas são elementos lineares onde uma das suas dimensões é maior que as outras duas, sendo um elemento esbelto e geralmente disposto na laje ao longo do menor vão, sendo interligado por elementos de enchimentos. A Figura 2 ilustra a disposição das vigotas em uma laje treliçada.

Figura 2: Disposição e sentido das vigotas treliçadas na laje.



Fonte: Deds (2017).

2.1. ANÁLISE ESTRUTURAL

As vigotas podem ser dispostos na laje de duas maneiras. A primeira é assentar as nervuras somente em uma direção espaçadas igualmente de acordo com o material de enchimento inerte, sendo essa disposição denominada de laje

unidirecional. A segunda, além de dispor as vigotas em uma direção principal, pode-se dispor transversalmente nervuras com o mesmo espaçamento, sendo essa configuração denominada de laje bidirecional.

2.1.1. Comportamento unidirecional x bidirecional

Foi analisado por Droppa Junior (1999) o comportamento de lajes formadas por vigotas treliçadas pré-moldadas com duas alturas e dois tipos de lajes, sendo elas unidirecionais e bidirecionais. Realizou-se estudos de deslocamentos por meio de uma comparação do modelo de viga com o modelo de grelha, através de uma análise não-linear. Mediante os resultados observou-se que ambos os modelos possuíam deslocamentos próximos, e que para lajes bidirecionais os deslocamentos obtidos reduziram quando foi utilizado o modelo de grelha com altura da laje maior. Logo, o mesmo constatou que a utilização de lajes bidirecionais melhor se adequa a lajes com vãos maiores, se a relação entre vãos for mais próximos de um e uma maior altura de laje.

Por meio de uma pesquisa realizada por Avilla Junior (2009) constatou-se que 50% dos projetistas estruturais apontam 6 metros de vão como problemático para executar em lajes unidirecionais formadas por vigotas treliçadas.

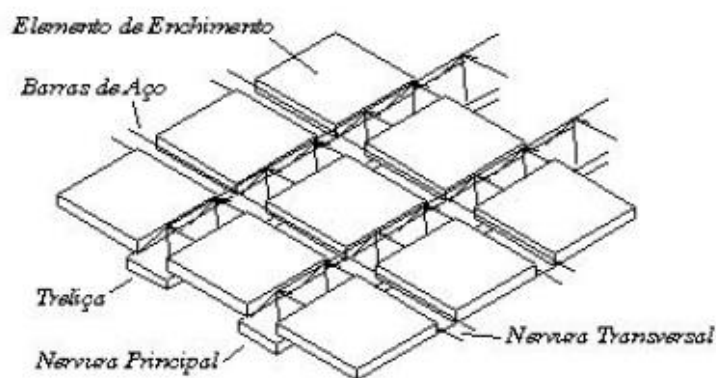
2.1.2. Vigotas transversais em lajes unidirecionais

Em lajes unidirecionais com nervuras transversais o que merece bastante atenção é a sua constituição. Não é possível dispor nervuras transversais em vigotas formadas por concreto armado ou concreto protendido. Logo, para a utilização da mesma necessita-se de vigotas com armação treliçada. A NBR 6118:2014 recomenda para nervuras de travamentos para lajes nervuradas moldadas “*in loco*” a adoção de um vão de 4 metros e duas nervuras para um vão de 6 metros.

De acordo com Medrano, Figueiredo Filho e Carvalho (2005), nervuras transversais são elementos montados no espaço entre as peças de enchimentos, onde possui armaduras que posteriormente são submetidas a concretagem do capeamento e das nervuras em si. O uso de vigotas transversais somente é possível quando são empregadas vigotas treliçadas, fazendo uso de

blocos de enchimentos como de alvenaria ou blocos de EPS, aumentando assim a rigidez da estrutura monolítica como ilustra a Figura 3. A utilização de blocos de EPS facilita a execução de nervuras transversais, levando a uma alternativa bastante viável e econômica.

Figura 3: Utilização de barras de aço como nervuras transversais.



Fonte: Medrano, Figueiredo Filho e Carvalho (2005).

A execução das vigotas transversais varia de acordo com os elementos de enchimento. Sendo que, para a execução da mesma são utilizados blocos de poliestireno com abas, já que o mesmo foi fabricado com essa finalidade. Outra alternativa são as canaletas de polietileno de alturas variadas, muito utilizados quando os elementos de enchimento são blocos cerâmicos ou até mesmo de concreto como ilustra a Figura 4. Estas peças são colocadas entre os blocos e apresentam espaçadores integrados para a disposição de barras de aço, como ilustra a Figura 5:

Figura 4: Canaletas multifuncional para a concretagem de vigotas transversais.



Fonte: www.faulim.com.br/canaleta.

Figura 5: Disposição das canaletas em lajes formadas por blocos de alvenaria.



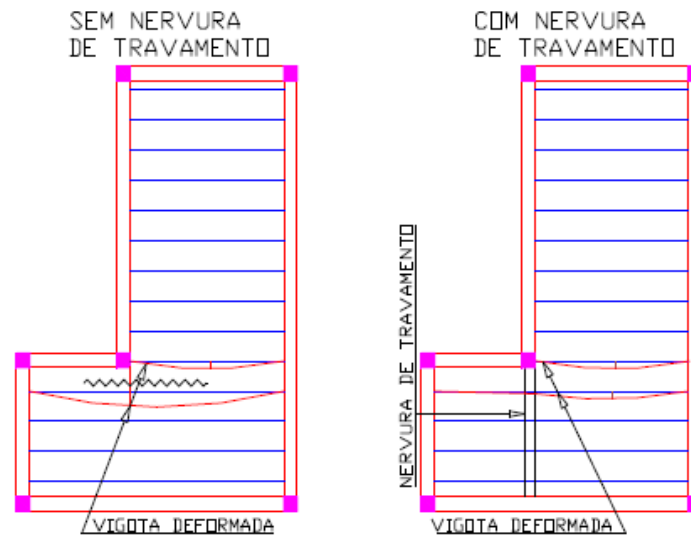
Fonte: https://www.aecweb.com.br/prod/cls/anuncios/pes_30237/canaleta-multifuncional-4-gran.jpg.

Júnior (1999) realizou uma análise com nervuras transversais em uma laje unidirecional e sua influência na distribuição de cargas e nos deslocamentos. Os resultados adquiridos pelo autor mostrou que a disposição das nervuras transversais na laje é pouco significativa na distribuição dos esforços solicitantes e nos deslocamentos desenvolvido pela mesma.

Quando a laje está submetida a carregamentos permanentes como uma parede de alvenaria, estas nervuras diminuem o deslocamento relativo entre as vigotas. Sendo que com a utilização a estrutura toma-se uma rigidez mais elevada e em caso de um eventual caso de colapso progressivo, pode-se ajudar no rearranjo dos esforços solicitantes.

De acordo com Avilla Junior (2009) utiliza-se vigotas transversais a cada 2 metros e de acordo com suas análises realizadas em lajes treliçadas, em lajes com variações geométricas possui uma maior facilidade de aparecimento de fissuras paralelas as vigotas como ilustra a Figura 6 com uma forma de L. A utilização de nervuras transversais diminui a deformação na vigota e como consequência a estrutura resiste um maior momento de fissuração.

Figura 6: Aparecimento de fissuras com a utilização de lajes treliçadas em forma de L.



Fonte: Avilla Junior (2009).

2.1.3. Vigotas transversais em lajes bidirecionais

De acordo com Medrano e Figueiredo Filho (2006) onde estudaram a influência de nervuras transversais na distribuição do carregamento disposto nas vigas em que contornam a laje bidirecional. Com este estudo, verificou-se que a utilização das nervuras em lajes bidirecionais se comporta próximo ao de uma placa, mesmo que seja disposto um número pequeno de nervuras, assim, as nervuras não interferem nos resultados.

2.2. NÃO LINEARIDADE FÍSICA

Uma peça em concreto armado fletida em estado limite de serviço pode trabalhar nos estádios I e II. Assim, para as seções que apresentam momentos fletores maiores que o momento de fissuração trabalham no estágio II. Devido as características das vigotas treliçadas o momento de fissuração é pequeno, entre elas estão a seção transversal em forma de “T” e o pequeno momento de inércia da seção bruta de concreto (CUNHA, 2012). Por meio da NBR 6118:2014 é possível calcular o momento de fissuração descrito na Equação 1.

$$M_r = \frac{\alpha * f_{ct} * I_c}{y_t} \quad \text{Eq. 01}$$

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

$\alpha = 1,5$ para seções retangulares (α é o fator que correlaciona aproximadamente a resistência à tração na flexão com a resistência à tração direta);

f_{ct} = resistência à tração direta do concreto (em MPa), utilizar $f_{ctk.inf}$ nesse caso;

I_c = momento de inércia da seção bruta de concreto;

y_t = distância do centro de gravidade da seção à fibra mais tracionada.

Para a resolução de problemas não-lineares uma das técnicas é o carregamento incremental. Carvalho (1994) afirma que a teoria consiste em uma soma de “n” cargas, onde em cada aplicação a rigidez é corrigida, apresentando também uma linearidade entre os esforços submetido e os deslocamentos em cada aplicação da carga.

Por meio de Branson (1968) é possível realizar cálculos manuais para o cálculo das flechas onde leva-se em conta que parte da laje excede o valor de momento de fissuração e outra parte permanece abaixo desse limite. Logo, o mesmo propôs um modelo onde utilizava o mesmo momento de inércia para todo o elemento estrutural, mesmo sabendo que a laje possuía uma distribuição das fissuras irregulares durante sua extensão. A Equação de Branson é dada pela Equação 02:

$$I_m = \left(\frac{M_r}{M_{at}} \right)^n * I_I + \left[1 - \left(\frac{M_r}{M_{at}} \right)^n \right] * I_{II} \quad \text{Eq. 02}$$

I_m = momento de inércia da seção bruta de concreto;

I_I = momento de inércia da peça no estágio I;

I_{II} = momento de inercia no estágio II puro;

M_r = momento de fissuração do concreto;

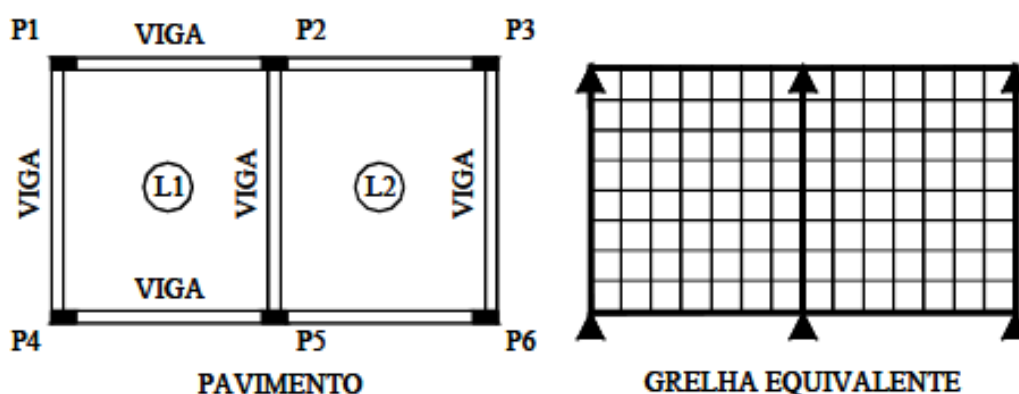
M_{at} = momento fletor atuante na seção crítica do vão considerado;

n = índice de valor igual a 4 para análise feita em uma seção da peça; e igual a 3 para análise da peça ao longo do seu comprimento.

2.3. ANALOGIA DE GRELHA

Nesse processo, a laje treliçada é considerada como uma grelha para a determinação dos esforços solicitantes em placas onde as bordas são indeslocáveis. Portanto, esse método emprega-se em substituir a laje por barras longitudinais no qual a rigidez dos dois eixos da estrutura são resistidas pelas barras transversais e longitudinais. Segundo Medrano, Figueiredo Filho e Carvalho (2005), tanto a rigidez a flexão como a torção deve ser o mais semelhante possível entre as duas estruturas (Laje e a grelha equivalente), para que quando forem submetida ao mesmo carregamento obtenham deflexões semelhantes como ilustra a Figura 7.

Figura 7: Analogia do pavimento com uma grelha equivalente.

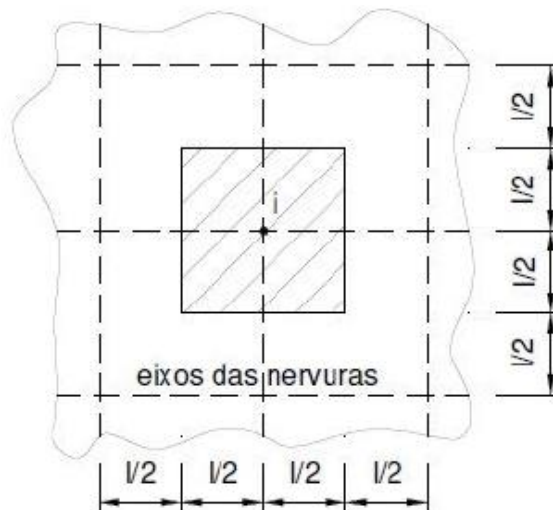


Fonte: Silva (2005)

Para a aplicação do processo de grelha no dimensionamento de lajes bidirecionais (armada em duas direções), faz-se necessário uma modificação nas nervuras e vigas da estrutura. Silva (2005) afirmou que as vigas e as nervuras da laje fossem substituídas por barras diretamente nos seus eixos de simetria, representando assim a grelha equivalente a laje em análise. Características geométricas devem ser analisadas nesse método da grelha, sendo estes elementos que representam as nervuras e as vigas, onde geralmente são adotados a seção T para as nervuras e a seção retangular para as vigas.

Uma maneira de aplicar os carregamentos atuante sobre a laje é concentrá-los diretamente nos nós da grelha, em função da área de influência de cada nó em análise. A Figura 8 ilustra a área de influência atuante em cada nó da grelha equivalente à laje.

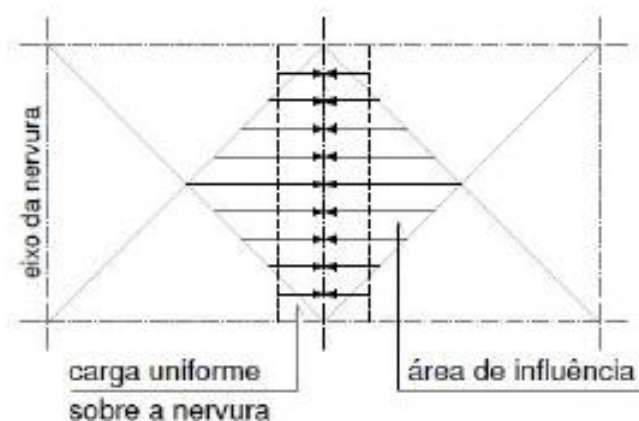
Figura 8: Área de influência referente a cada nó da grelha.



Fonte: Silva (2005).

Outra maneira de representar o carregamento é solicitar as barras da malha com o mesmo carregamento distribuído uniformemente ao longo do seu comprimento em função das áreas de carga absorvido pela barra, como representado na Figura 9. Logo, Silva (2012) afirma que pode-se imaginar que as lajes nervuradas são constituídas de várias lajes menores apoiadas nas nervuras, e por elas as reações serão distribuídas para a estrutura.

Figura 9: Carregamento distribuído uniformemente nas barras da grelha.



Fonte: Silva (2012).

2.4. DIMENSIONAMENTO

Para que o dimensionamento de lajes estejam de acordo com todas as normas vigentes faz-se necessário a verificação dos estados limites de serviço e estados limites últimos do referente elemento estrutural.

2.4.1. Estado Limite de Serviço

Para a verificação do estado limite de serviço refere-se a NBR 6118:2014 devido as normas que se remetem a lajes pré-fabricadas como a NBR 14859-1:2002 e NBR 14859-2:2002 não apresentem procedimentos de cálculo a respeito de flechas formadas imediatamente ou diferidas no tempo.

De acordo com os estados limites de serviço prescritos na NBR 6118:2014 pode-se destacar vários estados, dentre eles o estado limite de vibrações excessivas (ELS-VE) e o estado limite de deformações excessivas (ELS-DEF), onde são de maior relevância para estudos em lajes. Logo, cada estado limite de serviço utiliza uma combinação de ação que mais se adequa ao seu uso, prescritas na NBR 6118:2014.

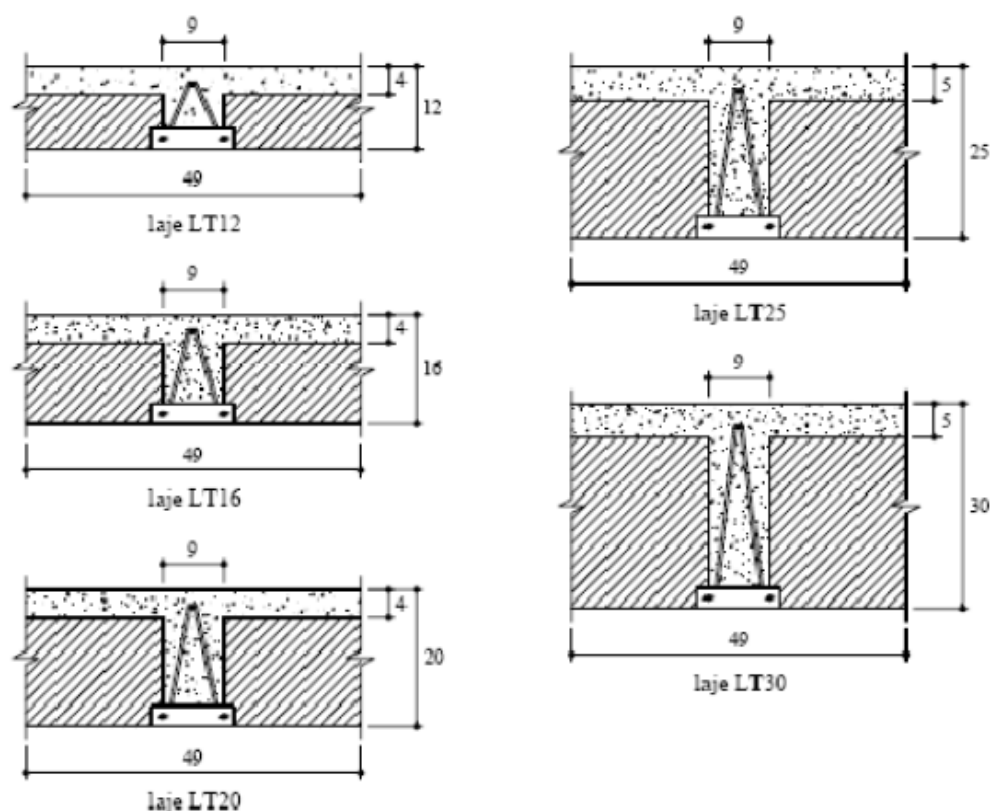
2.4.1.1. Estado Limite de Deformações Excessivas (ELS-DEF)

A flecha total na laje é a soma de duas parcelas: a primeira é a deformação imediata após a concretagem, onde utiliza-se a expressão de rigidez equivalente proposto por Branson (1968), e a segunda parcela é encontrada a partir de uma multiplicação da flecha imediata por um coeficiente de ponderação denominado de α_f . Onde pode ser considerada a mais crítica quando é considerado o efeitos reológicos do concreto como a retração e a fissuração.

De acordo com Carvalho et al. (2000), a determinação da altura da laje está diretamente relacionada a verificação da deformação excessiva, e alerta também que as tabelas para o cálculo das vigotas treliçadas são inadequadas, fazendo-se necessário um dimensionamento do elemento. Com isso, surge também o aparecimento de tabelas que indicam a contraflecha a ser adotado em cada caso, sendo de total importância para que seja possível aumentar os vãos a serem vencidos.

Merlin (2006) constatou com o seu estudo relacionado a lajes pré-moldadas formadas por vigotas com armação treliçada tendo como elemento de enchimento o poliestireno expandido (EPS). O estudo analisou lajes com entreixo fixo de 49 cm e variou as alturas das lajes entre 12 a 30 cm, e como consequência variando a altura da treliça da vigota utilizada. A Figura 10 ilustra as seções em análises.

Figura 10: Seções de análise variando a altura.



Fonte: Merlin (2006).

Foi realizada uma análise de qual parâmetro mais interferiria no coeficiente multiplicador α_f da flecha. Portanto, variou-se os parâmetros como a carga accidental, resistência característica a compressão do concreto da capa, resistência característica a compressão do concreto da vigota, o intervalo de tempo entre a concretagem da capa e a retirada do escoramento da laje, idade da concretagem da capa, temperatura ambiente e umidade relativa.

Com estes parâmetros, Merlin (2006) definiu que os parâmetros que mais interferem no coeficiente multiplicador α_f são o tempo de retirada do escoramento, a umidade relativa e a temperatura ambiente. Em seguida, por

meio de uma análise determinística e probabilística, determinou-se um coeficiente $\alpha_{u,t}$, responsável pela influência da umidade relativa e temperatura ambiente. Assim, para determinar a flecha imediata multiplica-se o fator multiplicador pelo coeficiente básico $\alpha_{básico}$ como mostra a Equação 03.

$$\alpha = \alpha_{básico} * \alpha_{u,t} \quad \text{Eq. 03}$$

Merlin (2006) define o fator multiplicador $\alpha_{básico}$ conforme a Equação 04 através de um coeficiente k, onde este é função da armadura da treliça, carregamento, altura e vão da laje. Logo, o mesmo manteve a temperatura ambiente em 25°C e a umidade relativa em 60% e variou os parâmetros. A Equação 05 mostra o cálculo realizado e também o coeficiente K.

$$\alpha_{básico} = 3,73 * k + 0,18 \quad \text{Eq. 04}$$

Onde:

$$K = \frac{A_s * h^{2,05}}{p^{1,5} * l^3} * 10^3 \quad \text{Eq. 05}$$

Sendo:

A_s = área de armadura (cm²);
 h = altura da laje (cm);
 p = carregamento aplicado (kN/m);
 l = vão da laje (m).

De acordo com Merlin (2006) as expressões acima são validas somente para lajes biapoiadas, logo pode-se também ser utilizada em lajes contínuas somente quando a porcentagem de fissuração seja compatível a uma laje biapoiada.

2.4.1.2. Estado Limite de Vibrações Excessivas (ELS-VE)

Almeida, Nóbrega e Hanai (2005) afirmam que a esbeltez e leveza presente nos elementos, tomando como ponto de vista a vibração da peça, apontam algumas consequências a estrutura, dentre elas: aumento da fissuração, não-linearidade geométrica mais aprofundada e como consequência a não-linearidade física, tomando assim um aumento de sensibilidade as vibrações.

Cunha (2012) diz que ensaios dinâmicos não-destrutivos também possuem vantagens de fornecer informações integradas e globais da estrutura a respeito da rigidez da peça, podendo também ser realizado várias vezes durante o tempo.

A frequência natural e o amortecimento são algumas das propriedades dinâmicas que são mais importante para esta análise. De acordo com Almeida (2005), a frequência natural é uma característica mais importante a respeito da taxa de oscilação livre da estrutura, logo após determinada a força que provocou a movimentação.

Mast (2001), afirma que a frequência natural é importante porque define o comportamento da estrutura logo após ser submetida aos esforços externos que geram as vibrações, sendo que o corpo humano possui sensibilidade a uma frequência de 4 a 8 Hz.

Segundo Cunha (2012), quanto mais flexível for a laje, menor será a frequência natural. Onde, a frequência natural de uma laje com um grau de liberdade é dada pela Equação 06.

$$f = \frac{1}{2\pi} * \sqrt{\frac{K}{M}} \quad \text{Eq. 06}$$

Sendo: f = frequência natural (Hz)
 K = rigidez do sistema (N/m)
 M = massa do sistema (kg)

Fazendo uma análise na Equação 06, observa-se que a frequência é diretamente proporcional a rigidez do sistema e inversamente proporcional a massa do mesmo. Assim, o módulo de elasticidade do material interfere diretamente na frequência da laje, assim como o comprimento do vão, momento de inercia e as vinculações.

Um sistema estrutural possui várias frequências naturais, onde sua quantidade varia de acordo com a quantidade de vinculações. De acordo com Cunha (2012), possui algumas soluções que minimizam essas vibrações e impedi deformações excessivas a estrutura, onde a mais utilizada é a que diz respeito ao ajuste das frequências.

De acordo com Almeida, Nóbrega e Hanai (2005), detecta-se a frequência natural do sistema (f_n) de modo simplificado, ou até mesmo refinada, comparando-o com a frequência mínima necessária ($f_{\min}$), sendo relacionada a excitação esperado. Quando a ($f_n \geq f_{\min}$), a estrutura não apresenta deformações por não entrar em ressonância e tão pouco apresentar vibrações excessivas. Logo, quando a ($f_n \leq f_{\min}$), faz-se necessário alterar as características da estrutura relacionado com a rigidez.

Outra importante propriedade relacionada a vibrações excessivas é o amortecimento. Almeida (2005), define como sendo uma propriedade interna que dissipa a energia absorvida da fonte externa pelo processo viscoso e atrito do sistema. Influencia diretamente no intervalo de tempo do processo vibratório e na propagação do mesmo.

Quando a laje em análise é formada por vigotas com armação treliçadas, segundo Cunha (2012) a definição do tipo de enchimento utilizado também interfere na verificação das vibrações da estrutura, visto que quanto menor for o peso específico do material, menor será a frequência natural da estrutura. Logo, o mesmo sugere utilizar os elementos de enchimento fabricado de blocos cerâmicos ou de concreto no lugar do EPS, apenas quando for realizar uma verificação de vibrações excessivas na laje.

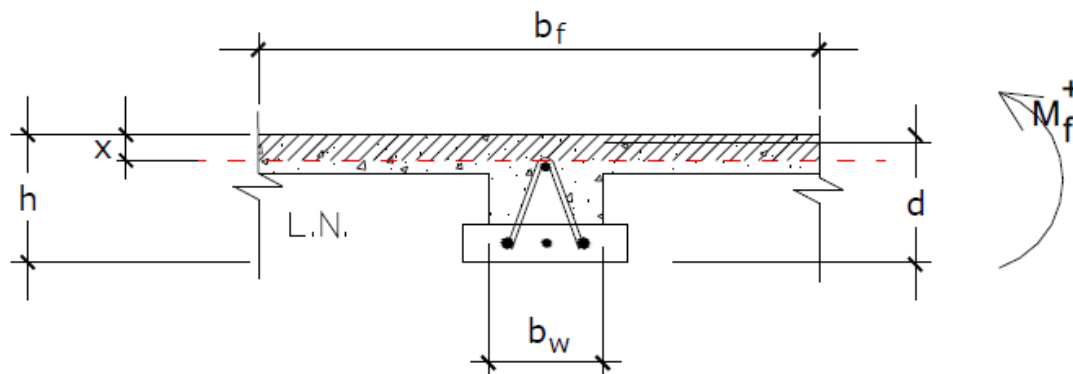
2.4.2. Estado Limite Ultimo

O elemento estrutural pode atingir o estado limite último de ruína quando o momento fletor atuante na peça ou a resistência a força cortante for maior que a resistências da seção transversal em análise.

2.4.2.1. Momento Fletor

Ao analisar uma laje utilizando vigotas com atuação de momento fletor positivo ou negativo, a seção transversal a ser considerada para resistir a estes esforços é diferente. Para o momento fletor positivo a largura da mesa de compressão colaborante é dado por b_f , e a altura da linha neutra (LN) que está na zona comprimida, x . Faz-se necessário conhecer a profundidade da linha neutra. A Figura 11 ilustra a peça com ação de um momento fletor positivo.

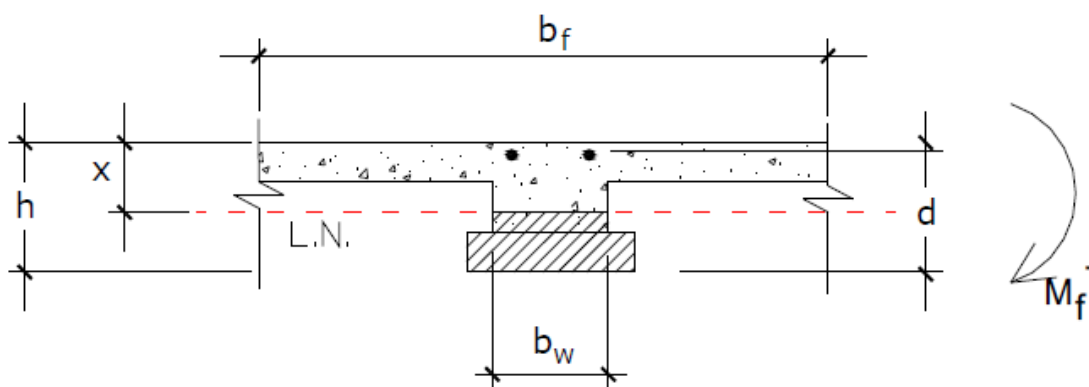
Figura 11: Vigota treliçada com a atuação de um momento positivo.



Fonte: Cunha (2012).

Para o momento fletor negativo, a seção resistente à compressão é retangular, onde b_w é a largura da nervura. É necessário descobrir a profundidade da linha neutra (LN). A Figura 12 ilustra a atuação do momento negativo, a região hachurada comprimida e a linha neutra.

Figura 12: Vigota treliçada com a atuação de um momento negativo.



Fonte: Cunha (2012).

De acordo com a NBR 6118:2014, para determinar a largura colaborante b_f dado no item 14.6.2.2., mostra que deve ser dada pela largura b_w acrescida de até 10% da distância “a” entre pontos de momento fletor nulo, para cada lado da nervura em análise. Logo, deve ser respeitado o limite para o valor de $B1$. Tem-se portanto:

$$b_f = b_w + 2 * a \quad \text{Eq. 07}$$

O valor de b_1 é dado pelo maior valor entre as equações a seguir:

$$b_1 \leq 0,1 * a \quad \text{e} \quad b_1 \leq 0,5 * b_2$$

Onde b_2 é a distância entre as faces da nervura. Os valores de “ a ” pode ser estimada, em função de l do tramo considerado, como se apresenta a seguir (NBR 6118:2014, seção 14.6.2.2.):

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

Com o valor de b_f encontrado, é possível calcular a profundidade da linha neutra. Conhecida a resistência a compressão do concreto, é possível determinar a área de armadura necessária para suportar o momento fletor de cálculo atuante na peça.

2.4.2.2. Resistência a Força Cortante

De acordo com Cunha (2012), as vigotas transversais podem dispersar as armaduras que resistem a força cortante solicitante (V_{sd}) se essa for menor que a força cortante resistente de cálculo (V_{sd1}). Logo a NBR 6118:2014, item 19.4.1., mostra por meio da Equação 08 que:

$$V_{sd} \leq V_{sd1} \quad \text{Eq. 08}$$

Onde a força cortante resistente de cálculo (V_{sd1}) é dado pela Equação 09.

$$V_{sd1} = [\tau_c * k * (1,2 + 40 * \beta_1)] * b_w * d \quad \text{Eq. 09}$$

Sendo:

$$\tau_c = 0,25 * f_{ctd} \quad \text{Eq. 10}$$

$$f_{ctd} = \frac{f_{ctk,inf}}{\gamma_c} \quad \text{Eq. 11}$$

$$\rho_1 = \frac{A_{s1}}{b_w * d} \leq 0,02 \quad \text{Eq. 12}$$

$k = 1$, para elementos onde 50% da armaduras inferior não chega até o apoio

$k = (1,6 - d) \geq 1$ onde d é dado em metros.

A_{s1} - é a área da armadura de tração que se estende até não menos que $d + l_{b,nec}$ além da seção considerada;

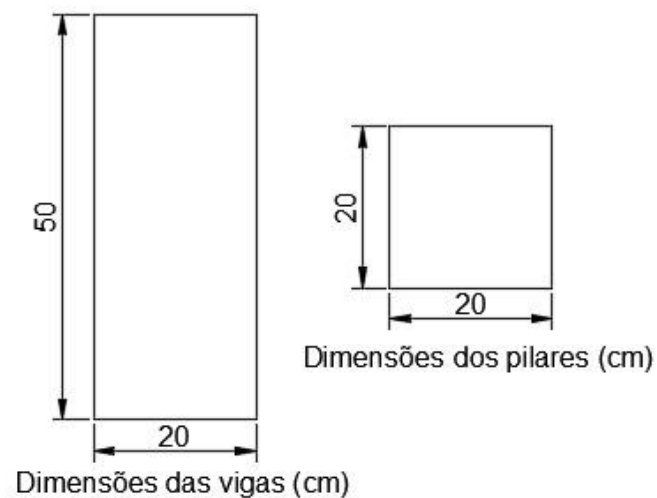
b_w - é a largura mínima da seção ao longo da altura útil d .

3. METODOLOGIA

3.1. SEÇÕES E MATERIAIS UTILIZADOS

Para o desenvolvimento desse trabalho foram utilizadas 3 lajes com as mesmas seções transversais, mudando somente o vão da mesma. Foram adotadas para as vigas uma seção de 20 x 50 cm, para os pilares uma seção de 20 x 20 cm conforme a Figura 13.

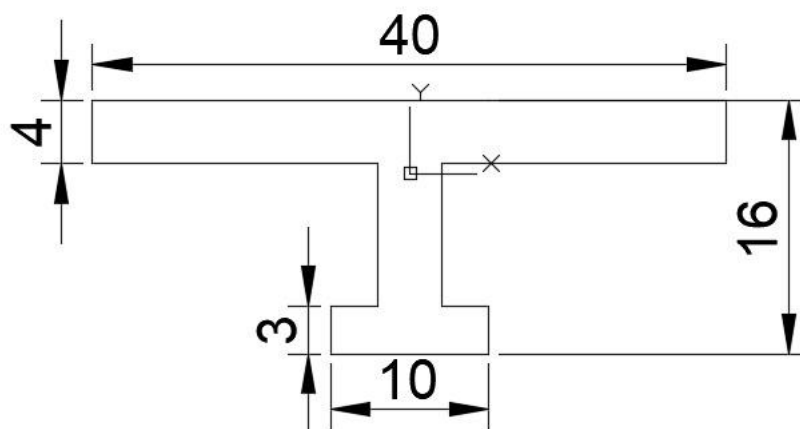
Figura 13: Dimensões dos elementos estruturais



Fonte: Autoria própria, 2020.

Como se trata de uma laje formada com vigotas treliçadas, as propriedades geométricas são definidas de acordo com o ilustrado na Figura 14.

Figura 14: Seção transversal da vigota treliçada.



Fonte: Autor, SAP2000 V. BETA, 2020.

Foram definidos dois materiais para o estudo, como se trata de uma laje armada com vigotas treliçadas é necessário definir as propriedades do concreto e do aço em uso. O concreto utilizado possui $f_{ck} = 25MPa$ e o aço utilizado no estudo foi o CA-50.

3.2. CARREGAMENTOS UTILIZADOS

Para os carregamentos foram utilizados valores descritos na norma ABNT NBR 6120:2019 em que simule os valores das instalações, revestimentos e a sobrecarga. As cargas são distribuídas pela NBR 6120:2019 em área, logo necessita-se transformá-las em cargas distribuídas linearmente nas vigotas, portanto, multiplica-se os valores considerados pelo comprimento de entre-eixo. Logo, as cargas distribuídas linearmente nas vigotas estão descritas conforme a Tabela 1.

Tabela 1: Cargas consideradas para as ações na laje.

Carregamento	Tipo	Valor (kN/m)
Sobrecarga	Variável	0,8
Instalações	Permanente	0,2
Revestimento	Permanente	0,4

Fonte: Autor, 2020.

Com os materiais e as seções definidas no SAP2000, o mesmo calcula o peso próprio dos elementos desfazendo a necessidade de informar ao programa. Com os carregamentos definidos foi realizado as combinações de ações para que posteriormente seja verificado os deslocamento, onde a primeira foi a combinação última. A combinação é definida pela ABNT NBR 6118:2014 conforme a Equação 13:

$$F_d = \gamma_g F_{gk} + \gamma_{gk} F_{\varepsilon gk} + \gamma_q \left(F_{q1k} + \sum \Psi_{0j} F_{qjk} \right) + \gamma_{\varepsilon q} \Psi_{0\varepsilon} F_{\varepsilon qk} \quad \text{Eq. 13}$$

Assim, foi-se realizado a combinação de ação última no SAP2000 como ilustra a Figura 15 com todos os fatores de ponderação.

Figura 15: Combinação de ação no estado limite último no SAP2000.

Load Combination Data

Load Combination Name (User-Generated): COMB1

Notes: Modify/Show Notes...

Load Combination Type: Linear Add

Options:

Convert to User Load Combo Create Nonlinear Load Case from Load Combo

Define Combination of Load Case Results

Load Case Name	Load Case Type	Scale Factor
DEAD	Linear Static	1,4
DEAD	Linear Static	1,4
SOBRECARGA	Linear Static	1,4
INSTALAÇÕES	Linear Static	1,4
REVESTIMENTO	Linear Static	1,4

Add Modify Delete

OK Cancel

Fonte: Autor, SAP2000 V. BETA, 2020.

A segunda condição estudada foi a combinação de ação em serviço em uma condição quase permanente (CQP), definida pela ABNT NBR 6118:2014 conforme a Equação 14:

$$F_{d,ser} = \sum F_{gi,k} + \sum \psi_2 F_{qj,k} \quad \text{Eq. 14}$$

Em que ψ_2 é definido como um fator de redução quase permanente para as ações variáveis para o Estado Limite de Serviço de Deformação Excessiva (ELS-DEF). Portanto, os valores de carga do peso próprio, instalações e revestimentos serão somados com uma minoração da sobrecarga conforme ilustrado na Figura 16:

Figura 16: Combinação de ação no estado limite de serviço no SAP2000.

Load Combination Data

Load Combination Name (User-Generated):

Notes:

Load Combination Type:

Options

Define Combination of Load Case Results

Load Case Name	Load Case Type	Scale Factor
DEAD	Linear Static	1,
DEAD	Linear Static	1,
SOBRECARGA	Linear Static	0,4
INSTALAÇÕES	Linear Static	1,
REVESTIMENTO	Linear Static	1,

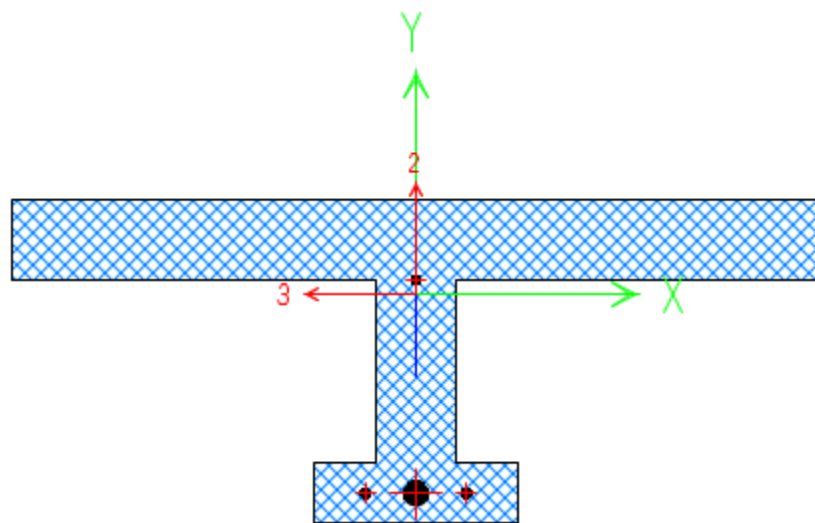
Fonte: Autor, SAP2000 V. BETA, 2020.

3.3. MODELOS DE LAJES UTILIZADOS NA ANÁLISE

Foram criados 3 modelos de laje, variando somente o comprimento do maior vão (l_y). Em cada modelo foram realizadas três análise distintas, observando assim a influência no deslocamento quando da variação da quantidade de vigotas transversais. Pelos valores usuais recomendados foram propostas três quantidades diferentes de nervuras transversais às vigotas: 1, 2 e 3.

As extremidades das vigotas foram rotuladas, impedindo a transmissão de momentos torsores para a viga principal. Isso foi feito aplicando valores nulos na rigidez da mola rotacional nas extremidades das vigotas. Essas molas, segundo o SAP2000, são orientadas segundo os eixos locais 1, 2 e 3 onde são respectivamente referentes ao eixos globais X, Y e Z. A Figura 17 ilustra os eixos locais e globais na seção das vigotas treliçadas.

Figura 17: Seção transversal da vigota treliçada com os devidos eixos locais e globais.



Fonte: Autor, SAP2000 V. BETA, 2020.

Com isso foi liberado os momentos 22 e 33 para as extremidades dos elementos como ilustra a Figura 18.

Figura 18: Liberação dos momentos 22 e 33 para as extremidades dos elementos.

Assign Frame Releases and Partial Fixity

	Release		Frame Partial Fixity Springs	
	Start	End	Start	End
Axial Load	☐	☐		
Shear Force 2 (Major)	☐	☐		
Shear Force 3 (Minor)	☐	☐		
Torsion	☐	☐		
Moment 22 (Minor)	☒	☒	0 kN-m/rad	0 kN-m/rad
Moment 33 (Major)	☒	☒	0 kN-m/rad	0 kN-m/rad

Clear All Releases in Form

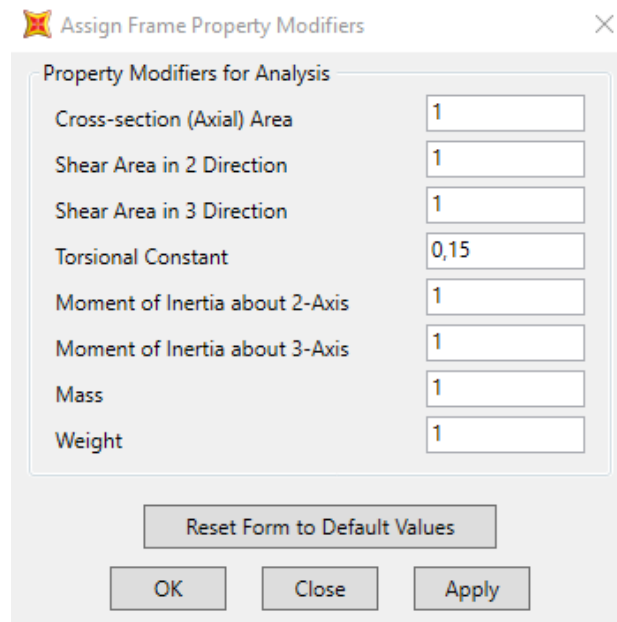
OK Close Apply

Fonte: Autor, SAP2000 V. BETA, 2020.

Para que o concreto se comportasse de maneira ideal a rigidez à torção foi reduzida em 85%, conforme a NBR 6118:2014. Esta redução é considerada quando o elemento de concreto possui baixa rigidez a torção depois da

fissuração do concreto para o caso de torção de compatibilidade. A Figura 19 ilustra a redução da constante de torção no SAP2000, sendo considerado pelo programa somente 15%.

Figura 19: Redução da constante de torção em 85% no SAP2000.



Property Modifiers for Analysis	
Cross-section (Axial) Area	1
Shear Area in 2 Direction	1
Shear Area in 3 Direction	1
Torsional Constant	0,15
Moment of Inertia about 2-Axis	1
Moment of Inertia about 3-Axis	1
Mass	1
Weight	1

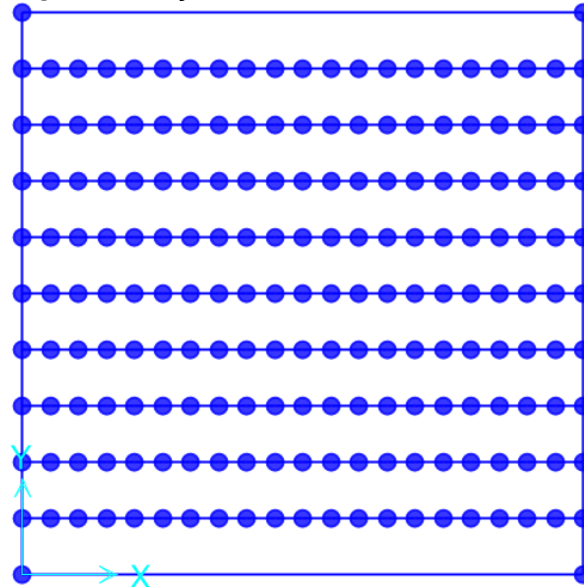
Reset Form to Default Values

OK Close Apply

Fonte: Autor, SAP2000 V. BETA, 2020.

Outra propriedade modificada foi o número de elementos finitos ao longo do eixo das vigotas treliçadas, sendo divididas em 20 elementos finitos para que melhor se adeque a deformações mais próximas da realidade. A Figura 20 ilustra o eixo das vigotas treliçadas dividida em 20 elementos finitos.

Figura 20: Vigotas treliçadas dividida em 20 elementos finitos.



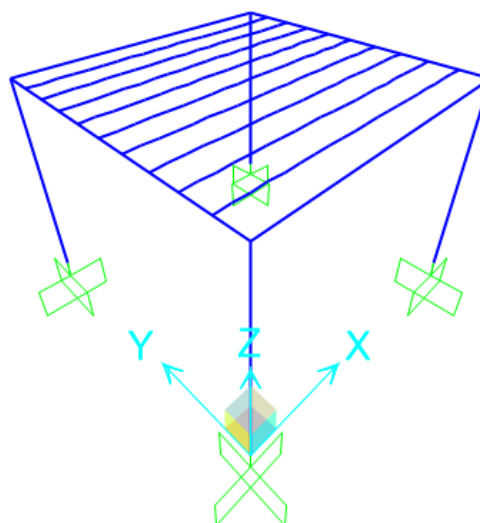
Fonte: Autor, SAP2000 V. BETA, 2020.

3.3.1. Modelo de Referência 1 (MR1)

Este primeiro modelo de referência trata-se de uma laje quadrada com vão de 4 metros. A análise foi realizada no programas de elementos finito SAP2000 onde para a realização da análise precisou-se definir algumas propriedades dos materiais e as seções dos elementos estruturais utilizados.

Para as lajes quadradas o sentido de disposição das vigotas não fazem diferença devido possuírem o mesmo vão ao longo dos dois eixos de referência. Portanto, foram utilizadas 9 vigotas treliçadas ao longo do eixo y como ilustra a Figura 21.

Figura 21: Modelo de referência 1.

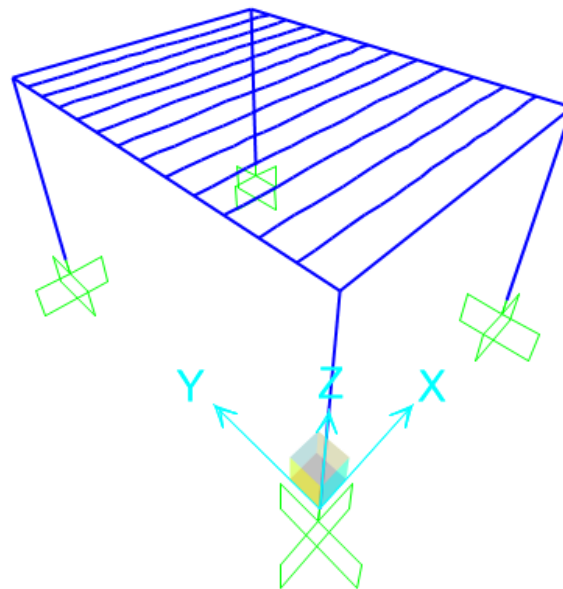


Fonte: Autor, SAP2000 V. BETA, 2020.

3.3.2. Modelo de Referência 2 (MR2)

Neste modelo de referência a laje em estudo possui uma tipologia geométrica de 4 m no eixo x e 5,20 m no eixo y de referência, com isso as vigotas são empregadas em vencer o menor vão possível sendo esse o eixo x de 4 metros. Foram dispostas 12 vigotas treliçadas com distâncias entre eixos de 40 cm como ilustra a Figura 22.

Figura 22: Modelo de referência 2.

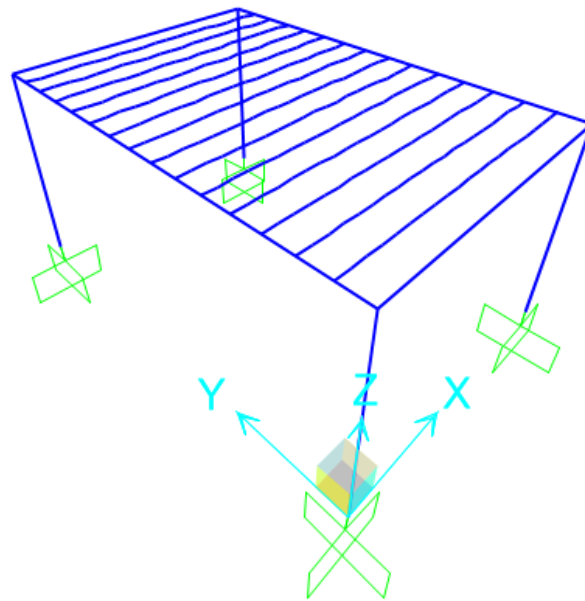


Fonte: Autor, SAP2000 V. BETA, 2020.

3.3.3. Modelo de Referência 3 (MR3)

No modelo de referência 3, no eixo x, o comprimento do vão continuou em 4 metros e variou-se novamente o vão disposto no eixo y com um comprimento de 6 metros. Assim, esse vão foi dividido pela distância entre eixos das vigotas, e conclui-se 14 vigotas treliçadas como ilustra a Figura 23.

Figura 23: Modelo de referência 3.



Fonte: Autor, SAP2000 V. BETA, 2020.

4. RESULTADOS

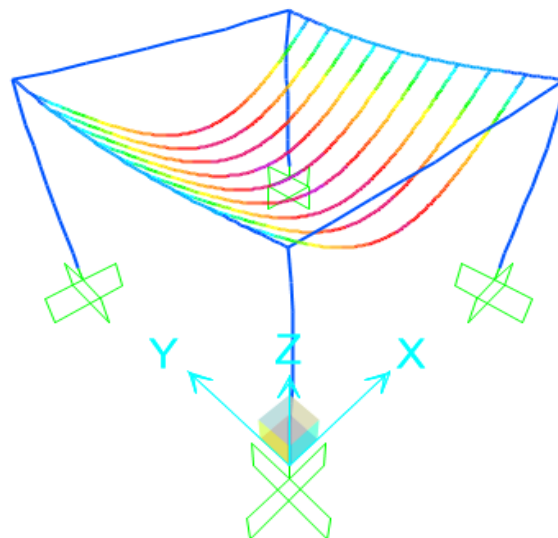
4.1. INFLUÊNCIA DAS VIGOTAS TRANSVERSAIS NO MODELO DE REFERÊNCIA 1

Com todas as propriedades modificadas e a combinação de serviço disposta na estrutura dar-se início ao estudo de influência das vigotas transversinas. Portanto, será observado um ponto em comum para todos os modelos, o deslocamento que o mesmo sofre, variando a quantidade de vigotas transversais.

4.1.1. Modelo de Referência 1 sem vigota transversal (MR1)

A laje é submetida a combinação de ações de serviço sem a influência da vigota transversal como ilustrado a Figura 24.

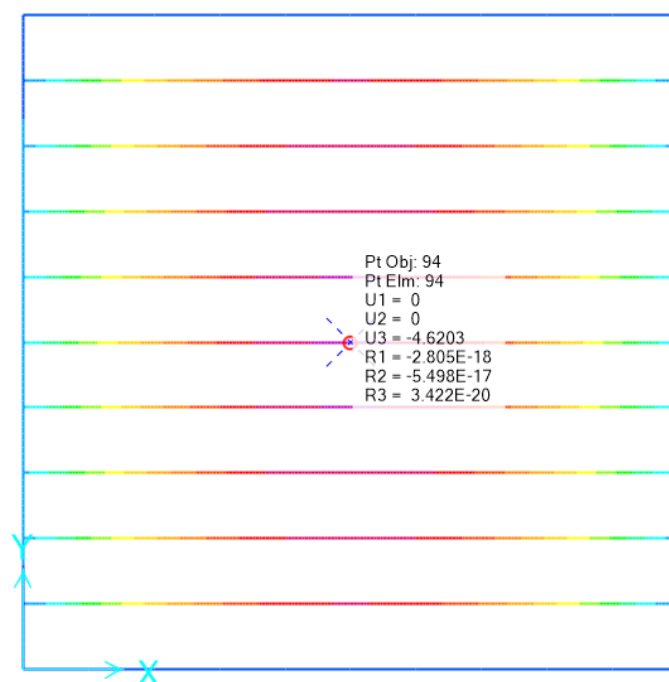
Figura 24: Modelo 3D da laje MR1.



Fonte: Autor, SAP2000 V. BETA, 2020.

Logo, após a aplicação do carregamento a laje deforma-se acarretando uma flecha máxima no centro do vão como ilustrado na Figura 25.

Figura 25: Deslocamento obtido no centro do MR1 em milímetros.



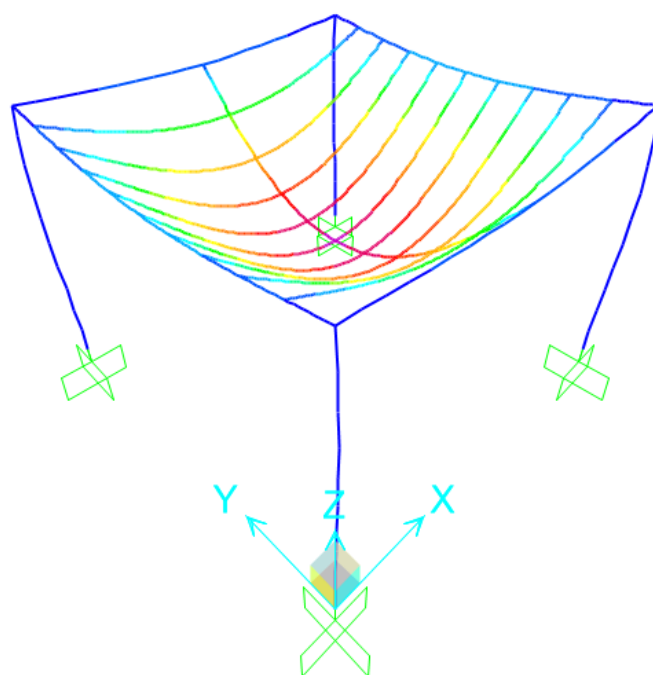
Fonte: Autor, SAP2000 V. BETA, 2020.

Os termos U1, U2 e U3 são respectivamente os deslocamentos nos eixos X, Y e Z. Assim, a deformação no eixo de referência Z foi de 4,62 milímetros.

4.1.2. Modelo de Referência 1 com uma vigota transversal (MR1VT1)

Por meio da combinação de ação de serviço pode-se analisar a deformação da laje com a influência de uma vigota transversal as nervuras treliçadas como ilustra a Figura 26:

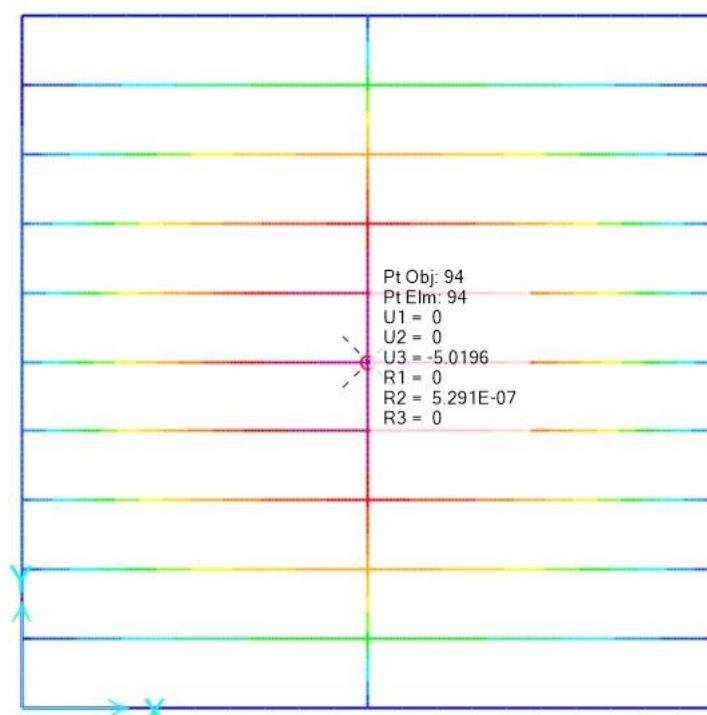
Figura 26: Modelo 3D da laje MR1VT1.



Fonte: Autor, SAP2000 V. BETA, 2020.

Com o carregamento submetido, analisa-se o centro para todos os modelos e observa a deformação no estado limite de serviço como demonstra a Figura 27.

Figura 27: Deslocamento obtido no centro do MR1VT1 em milímetros.



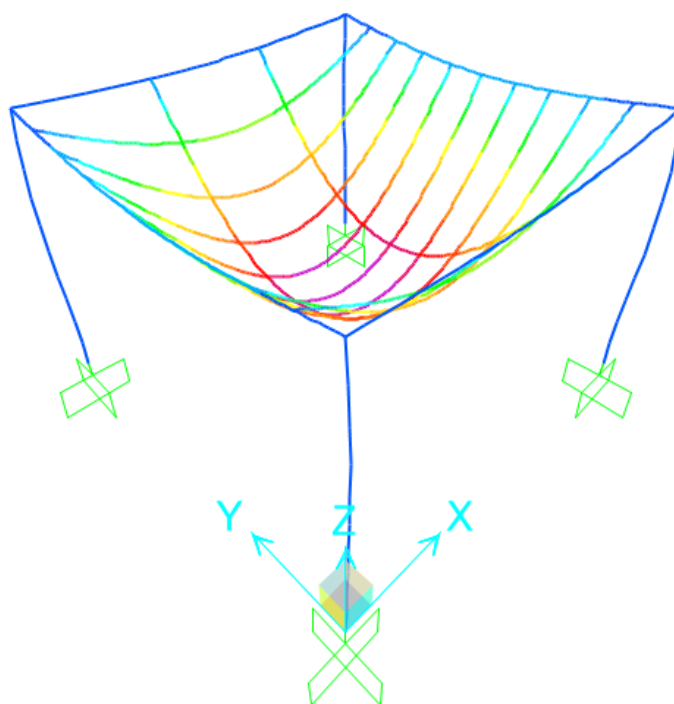
Fonte: Autor, SAP2000 V. BETA, 2020.

Os termos U_1 , U_2 e U_3 são respectivamente os deslocamentos nos eixos X, Y e Z. Como a estrutura não está submetida a forças horizontais os deslocamentos em X e Y são zero, diferentemente do eixo Z que por sua vez está solicitado e deforma como mostrado 5,01 milímetros.

4.1.3. Modelo de Referência 1 com duas vigotas transversais (MR1VT2)

Essa análise estuda o modelo de referência 1 com influência de duas vigotas transversais sendo submetida a uma combinação de ação de serviço como demonstrado a Figura 28.

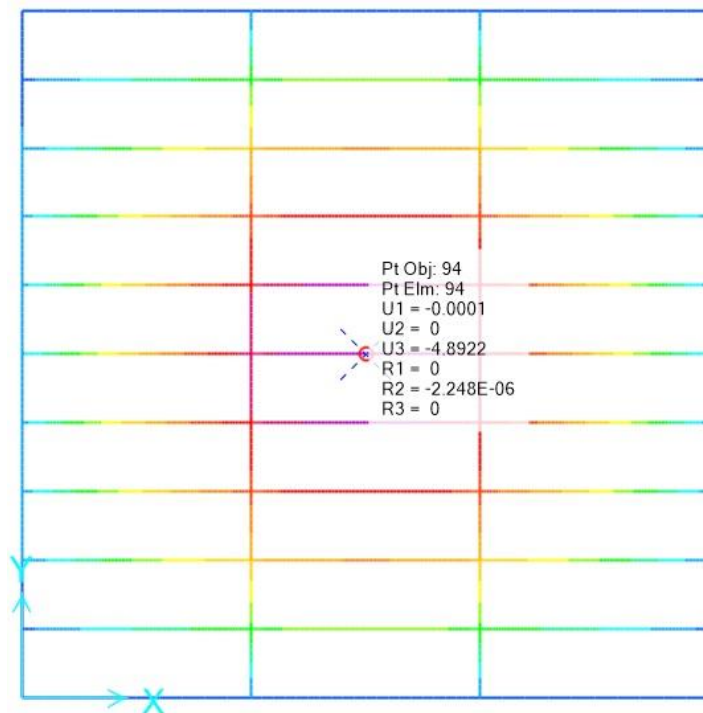
Figura 28: Modelo 3D da laje MR1VT2.



Fonte: Autor, SAP2000 V. BETA, 2020.

A análise será realizada no centro da laje como descrito nos outros modelos conforme mostrado na Figura 29. U_1 , U_2 e U_3 são respectivamente os deslocamentos nos eixos X, Y e Z onde a estrutura somente está solicitada com cargas verticais, portanto, somente existirá deslocamentos no eixo Z.

Figura 29: Deslocamento obtido no centro do MR1VT2 em milímetros.



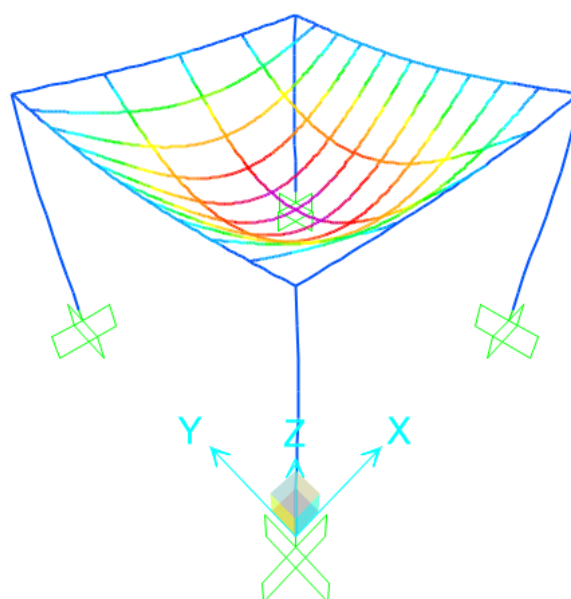
Fonte: Autor, SAP2000 V. BETA, 2020.

Realizando a análise do deslocamento obtido no ponto em questão, conseguiu uma deformação após submetida ao carregamento de 4,89 milímetros.

4.1.4. Modelo de Referência 1 com três vigotas transversais (MR1VT3)

Nesta observação, variou-se a quantidade de vigotas transversais modificando o modelo de referência 1 com três vigotas transversinas. A Figura 30 ilustra o modelo com três vigotas transversais.

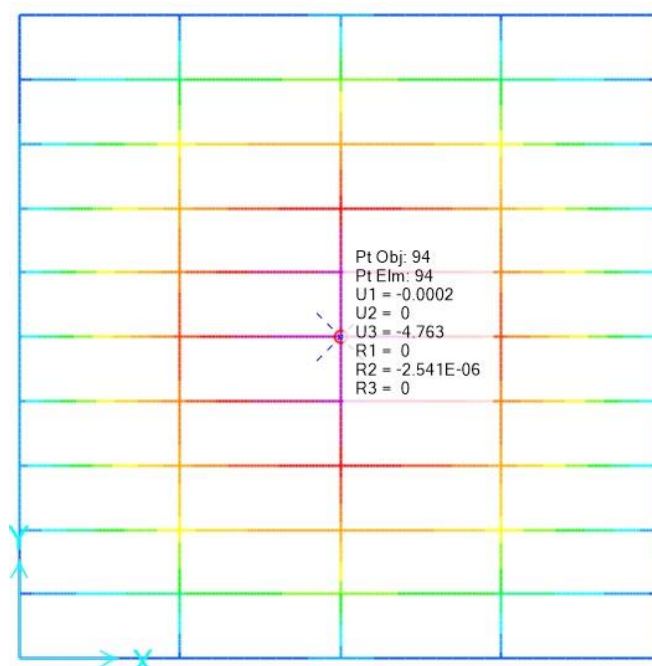
Figura 30: Modelo 3D da laje MR1VT3.



Fonte: Autor, SAP2000 V. BETA, 2020.

Com os carregamentos verticais aplicados na laje advindo do peso próprio, instalações, revestimentos e cargas acidentais a laje deforma se deslocando ao longo do eixo z de referência como ilustrado na Figura 31.

Figura 31: Deslocamento obtido no centro do MR1VT3 em milímetros.



Fonte: Autor, SAP2000 V. BETA, 2020.

Por meio da análise do deslocamento obtido no ponto de referência, obteve-se uma flecha após a submissão do carregamento de 4,76 milímetros.

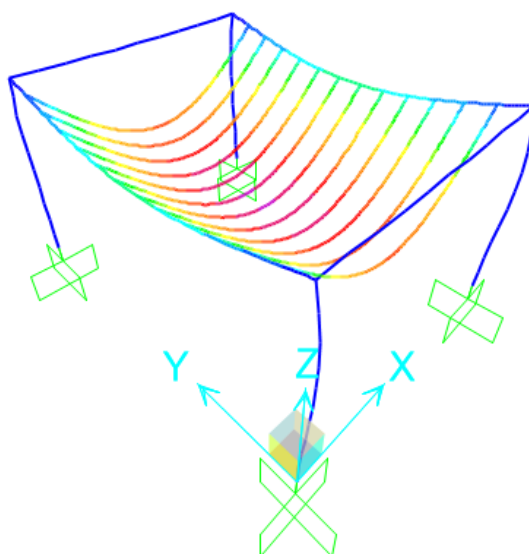
4.2. INFLUÊNCIA DAS VIGOTAS TRANSVERSAIS NO MODELO DE REFERÊNCIA 2

Com todas as propriedades modificadas, dar-se início ao estudo da influência das vigotas transversinas com uma laje unidirecional. Portanto, para realizar a análise observa-se por meio das cores o maior deslocamento possível e define como ponto de estudo o centro dos modelos.

4.2.1. Modelo de Referência 2 sem vigota transversal (MR2)

A laje é submetida a combinação de ações de serviço sem a influência da vigota transversal como ilustrado a Figura 32.

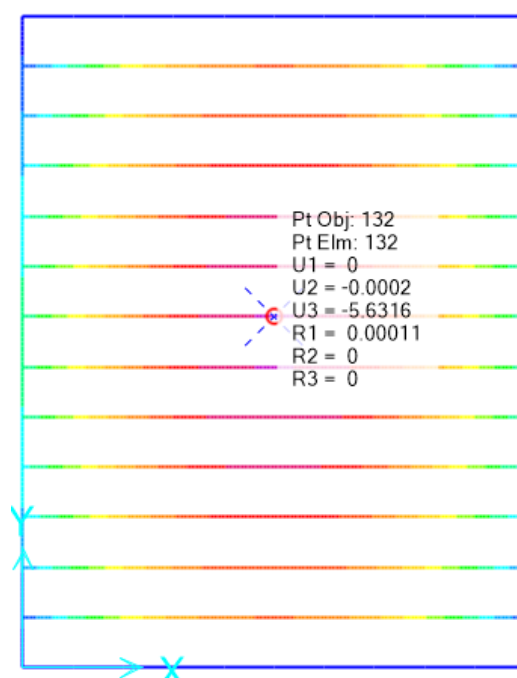
Figura 32: Modelo 3D da laje MR2.



Fonte: Autor, SAP2000 V. BETA, 2020.

Com a submissão do carregamento a estrutura se deforma formando uma flecha como ilustra a Figura 33:

Figura 33: Deslocamento obtido no centro do MR2 em milímetros.



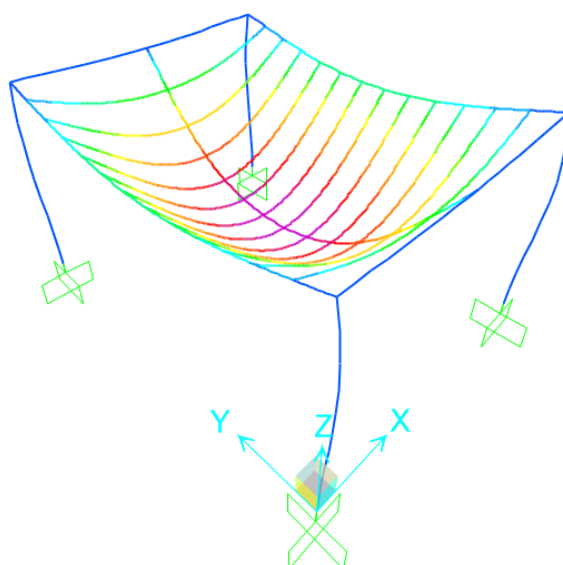
Fonte: Autor, SAP2000 V. BETA, 2020.

Os coeficientes U1, U2 e U3 correspondem aos deslocamentos eixos X, Y e Z. Assim, o eixo a ser visualizado é o Z devido corresponder ao sentido de aplicação das cargas, correspondendo assim a 5,63 milímetros.

4.2.2. Modelo de Referência 2 com uma vigota transversal (MR2VT1)

A análise procedeu com o modelo 2 da laje, onde a mesma possui uma vigota transversal que foi submetida a uma combinação de ações em serviço. A Figura 34 ilustra o modelo 3D com uma vigota transversal.

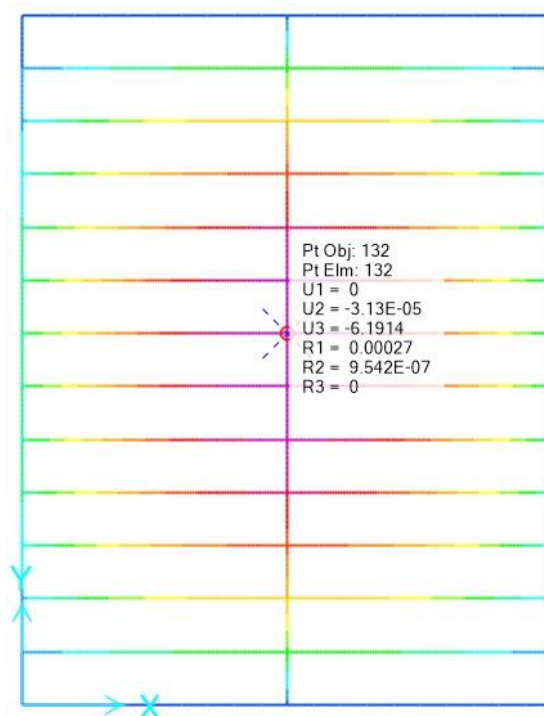
Figura 34: Modelo 3D da laje MR2VT1.



Fonte: Autor, SAP2000 V. BETA, 2020.

Com a aplicação dos carregamentos a laje se deforma verticalmente devido o sentido de aplicação das cargas, assim, a Figura 35 ilustra o maior deslocamento após a submissão da carga sobre a estrutura no ponto em estudo.

Figura 35: Deslocamento obtido no centro do MR2VT1 em milímetros.



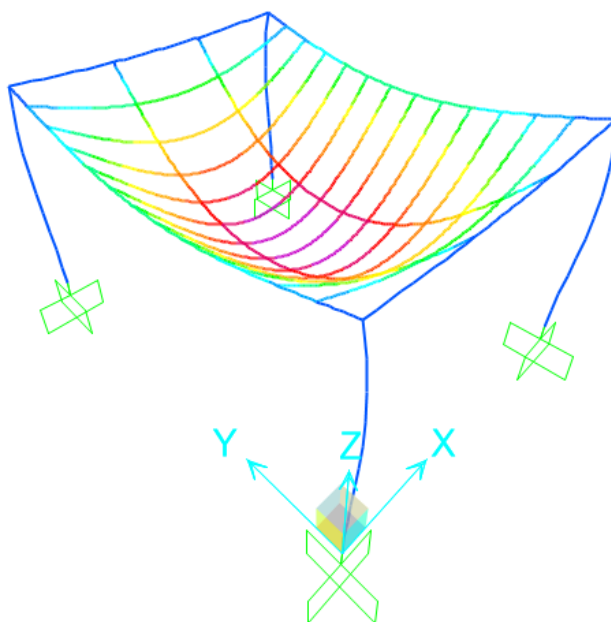
Fonte: Autor, SAP2000 V. BETA, 2020.

Os coeficientes U1, U2 e U3 correspondem aos deslocamentos eixos X, Y e Z. Assim, o eixo a ser visualizado é o Z devido corresponder ao sentido de aplicação das cargas, correspondendo assim a 6,19 milímetros.

4.2.3. Modelo de Referência 2 com duas vigotas transversais (MR2VT2)

Neste modelo foi incrementado duas vigotas transversais ao longo do eixo x de referência e observado o deslocamento máximo obtido após solicitado ao carregamento como ilustra a Figura 36.

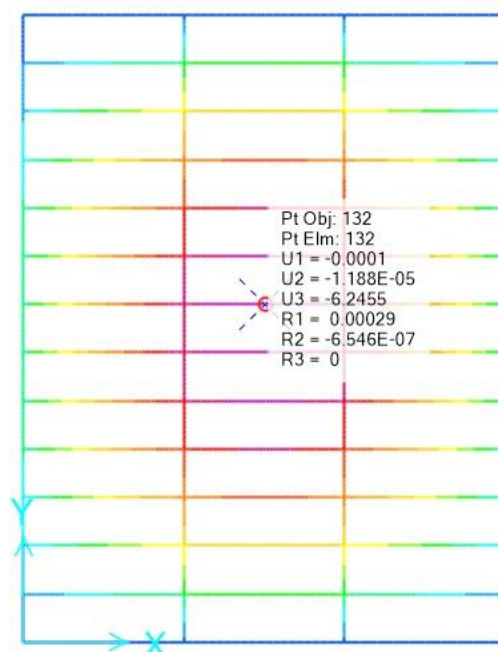
Figura 36: Modelo 3D da laje MR2VT2.



Fonte: Autor, SAP2000 V. BETA, 2020.

Com a aplicação do carregamento a estrutura se deforma, acarretando assim uma deformação na laje. Assim, o deslocamento máximo obtido nesse modelo é expresso na Figura 37.

Figura 37: Deslocamento obtido no centro do MR2VT2 em milímetros.



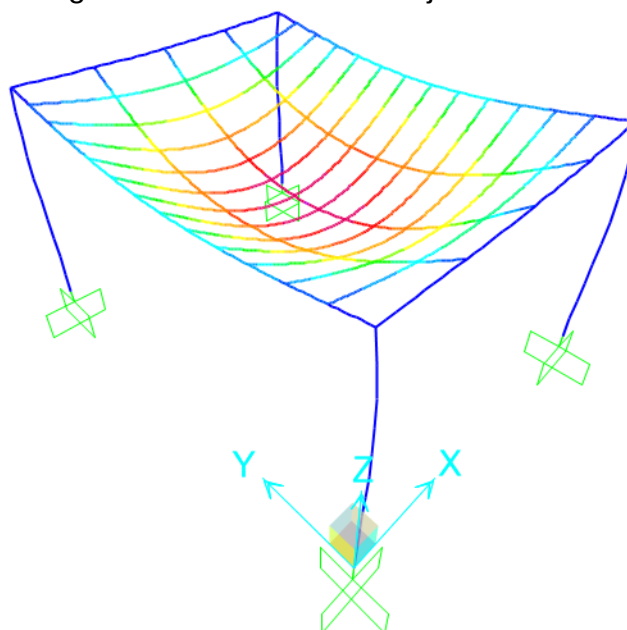
Fonte: Autor, SAP2000 V. BETA, 2020.

Com a análise do ponto em questão, os termos U1, U2 e U3 correspondem sequencialmente aos eixos de coordenadas X, Y e Z, tendo assim uma maior deformação no eixo Z devido aos sentido de aplicação das cargas com uma flecha de 6,24 milímetros.

4.2.4. Modelo de Referência 2 com três vigotas transversais (MR2VT3)

Para essa análise foi disposto três vigotas transversais dispostos ao longo do eixo X e foi observado o deslocamento máximo obtido após o carregamento como ilustra a Figura 36.

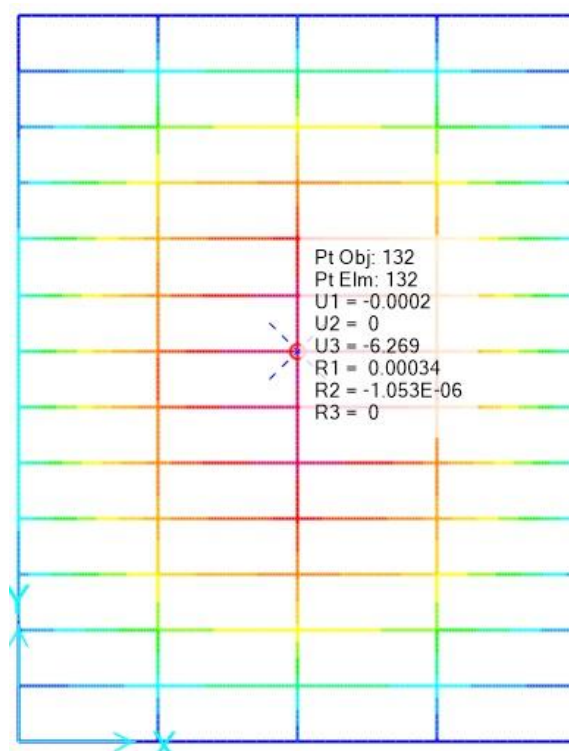
Figura 38: Modelo 3D da laje MR2VT3.



Fonte: Autor, SAP2000 V. BETA, 2020.

O deslocamento máximo obtido após a estrutura ser solicitada ao carregamento é ilustrado na Figura 39.

Figura 39: Deslocamento obtido no centro do MR2VT3 em milímetros.



Fonte: Autor, SAP2000 V. BETA, 2020.

Onde os termos U1, U2 e U3 corresponder aos eixos X, Y e Z onde a maior deformação obtido se desloca ao longo do eixo Z devido ao sentido de aplicação das cargas. Onde a estrutura nesse modelo com influência de três vigotas transversais possui uma deformação de 6,27 milímetros.

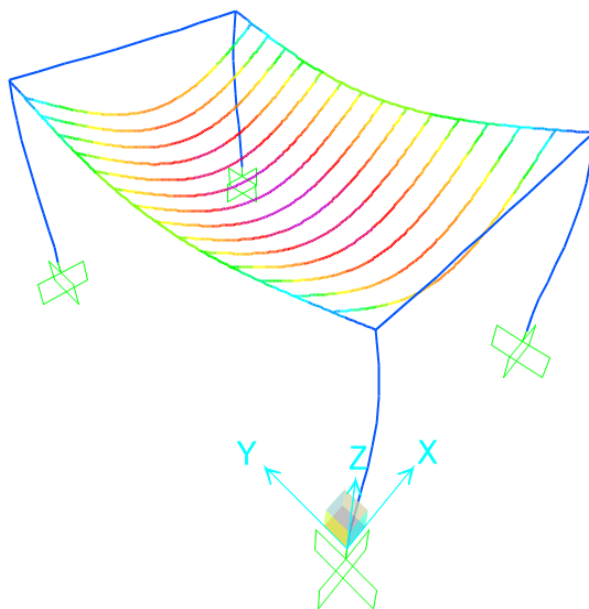
4.3. INFLUÊNCIA DAS VIGOTAS TRANSVERSAIS NO MODELO DE REFERÊNCIA 3

Dado que as propriedades do modelo foram modificadas, faz-se agora a última análise com a influência de uma laje unidirecional com um vão de 6 metros a serem vencidos. Logo, por meio de cores verifica-se o ponto com maior deslocamento e faz a análise variando a quantidade de vigotas.

4.3.1. Modelo de Referência 3 sem vigota transversal (MR3)

A laje é submetida a combinação de ações de serviço sem a influência da vigota transversal como ilustrado a Figura 40.

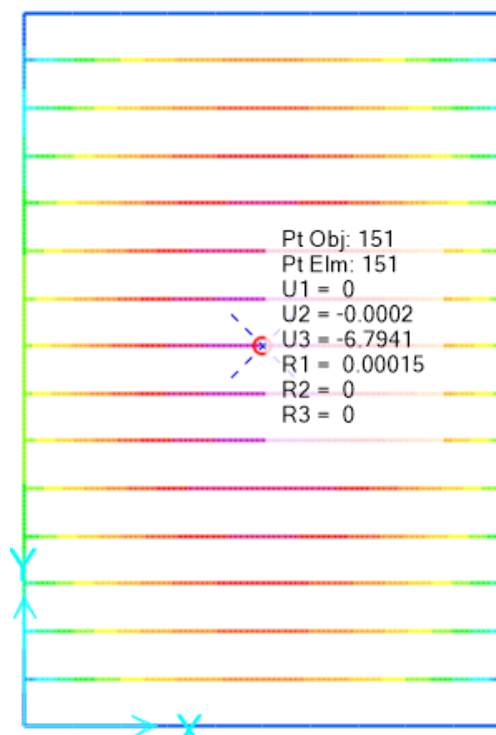
Figura 40: Modelo 3D da laje MR3.



Fonte: Autor, SAP2000 V. BETA, 2020.

Com a aplicação do carregamento a estrutura se deforma, acarretando assim uma deformação na laje. Assim, o deslocamento máximo obtido nesse modelo é expresso na Figura 41.

Figura 41: Deslocamento obtido no centro do MR3 em milímetros.

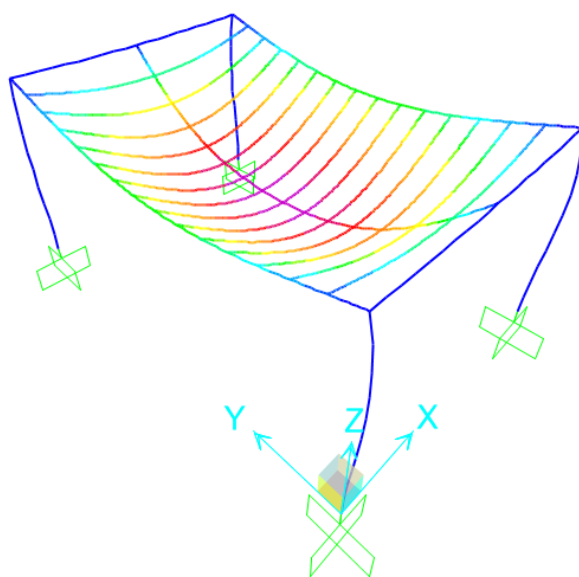


Fonte: Autor, SAP2000 V. BETA, 2020.

4.3.2. Modelo de Referência 3 com uma vigota transversal (MR3VT1)

Para essa verificação dispõe-se de uma vigota transversal ao longo do eixo X como ilustra a Figura 42.

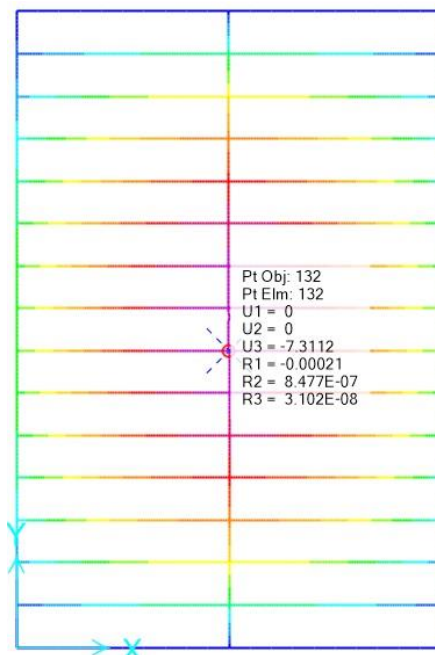
Figura 42: Modelo 3D da laje MR3VT1.



Fonte: Autor, SAP2000 V. BETA, 2020.

Com a estrutura submetida ao carregamento, a mesma tende a deformar-se e assim formar uma flecha se deslocando em torno do eixo Z de como ilustrado na Figura 43.

Figura 43: Deslocamento obtido no centro do MR3VT1 em milímetros.



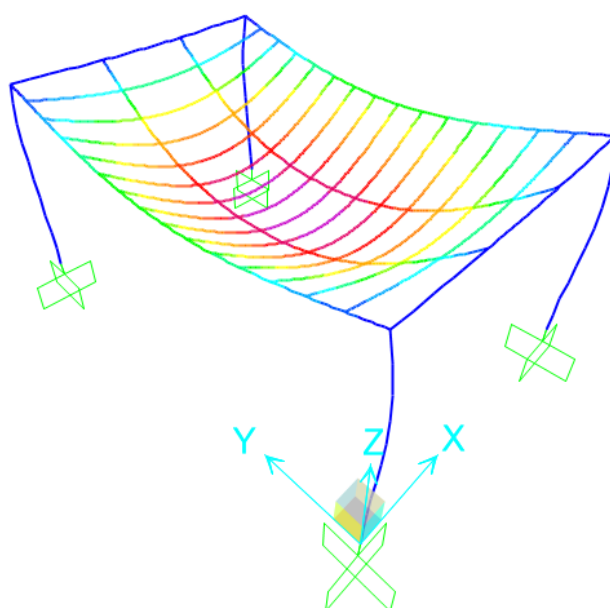
Fonte: Autor, SAP2000 V. BETA, 2020.

Os termos U1, U2 e U3 são respectivamente os eixos de coordenadas X, Y e Z. portanto, o deslocamento máximo com a influência de uma vigota transversal foi de 7,31 milímetros.

4.3.3. Modelo de Referência 3 com duas vigotas transversais (MR3VT2)

Agora, nessa análise será disposta ao longo do eixo X de referência duas vigotas transversais como ilustra a Figura 44.

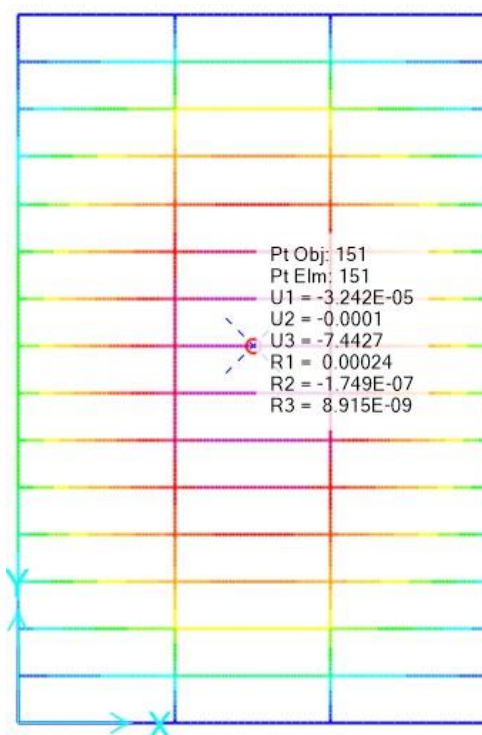
Figura 44: Modelo 3D da laje MR3VT2.



Fonte: Autor, SAP2000 V. BETA, 2020.

Após a submissão da estrutura ao carregamento a estrutura se deforma no sentido de aplicação das cargas deslocando-se assim em torno do eixo Z como representa a Figura 45.

Figura 45: Deslocamento obtido no centro do MR3VT2 em milímetros.



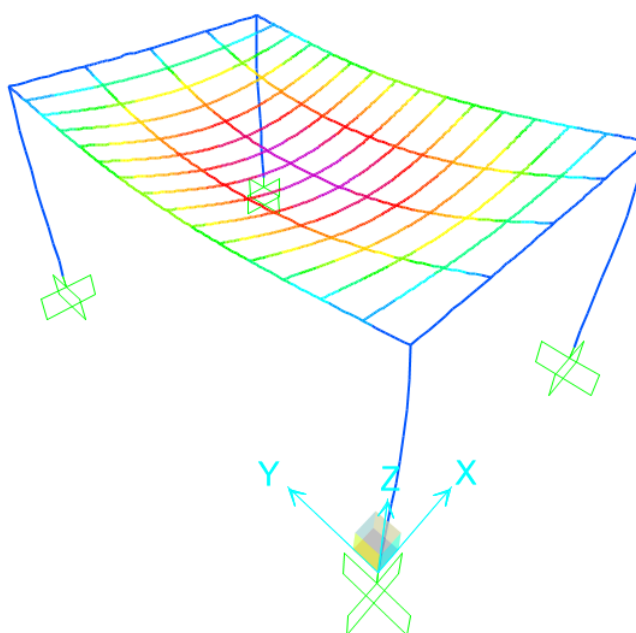
Fonte: Autor, SAP2000 V. BETA, 2020.

Assim a estrutura se desloca 7,44 milímetros visto que os termos U1, U2 e U3 corresponder aos eixos de coordenadas X, Y e Z.

4.3.4. Modelo de Referência 3 com três vigotas transversais (MR3VT3)

Neste momento a análise foi realizada com a disposição de três vigotas transversais ao longo do eixo X como ilustra a Figura 46.

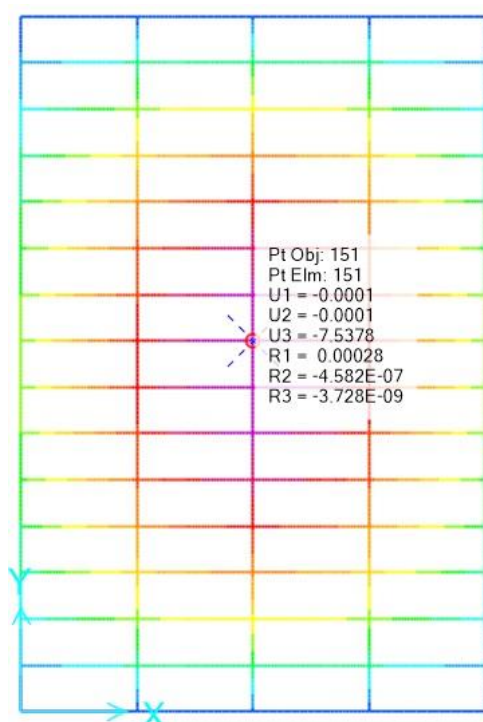
Figura 46: Modelo 3D da laje MR3VT3.



Fonte: Autor, SAP2000 V. BETA, 2020.

Logo após a submissão da estrutura ao carregamento a laje começa a deformar no sentido de aplicação da carga sendo deslocada ao longo do eixo de referência Z. a Figura 47 ilustra o maior deslocamento obtido após posto o carregamento.

Figura 47: Deslocamento obtido no centro do MR3VT3 em milímetros.



Fonte: Autor, SAP2000 V. BETA, 2020.

Considerando que os termos U1, U2 e U3 são respectivamente os eixos de coordenadas X, Y e Z observa-se que a estrutura forma uma flecha de 7,53 milímetros como descrito na imagem.

4.4. ANÁLISE DOS RESULTADOS

Com os resultados obtidos nos três modelos foi possível traçar gráficos para melhor analisar os resultados das influencias das vigotas em cada tipologia de laje. Sendo uma laje quadrada o modelo 1 de referência com vãos de 4 metros entre os eixos adquiriu-se os deslocamentos mostrado na Tabela 2.

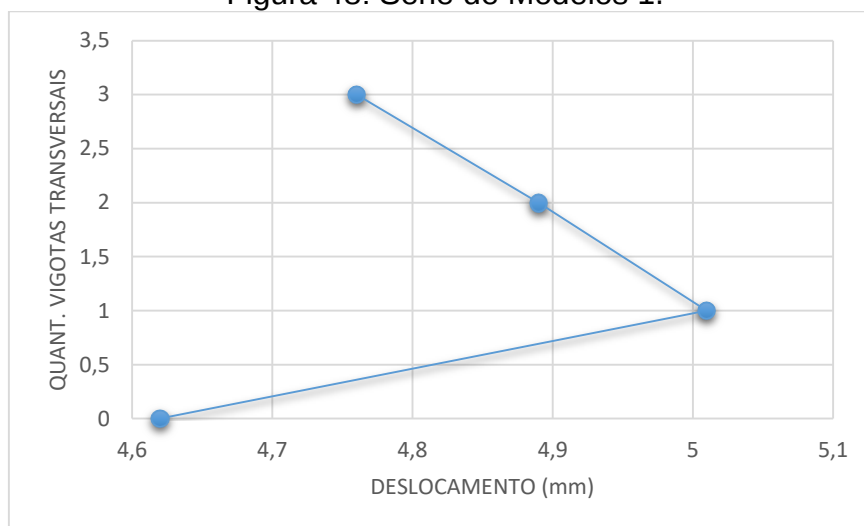
Tabela 2: Modelo de Referência 1.

Quantidade de Vigotas Transversais	Deslocamento (mm)
0	4,62
1	5,01
2	4,89
3	4,75

Fonte: Autor, 2020.

Assim, foi possível traçar um gráfico onde o eixo das ordenadas estão dispostas a quantidade de vigotas e no das abscissas estão os deslocamentos obtidos como ilustra Figura 48.

Figura 48: Série de Modelos 1.



Fonte: Autor, 2020.

Portando, para o modelo de referência 1 observou-se que sem a influência da vigota transversal o deslocamento era menor, após a incrementação da vigota transversina ocorreu um aumento do deslocamento devido ao acréscimo do peso próprio, mas ao aumentar o número de vigotas o deslocamento diminui gradativamente. Em contrapartida, deve-se levar em consideração o gasto com concreto para a fabricação das vigotas transversinas e até mesmo transformar a estrutura em laje nervurada.

Para o modelo de referência 2 foi verificado também a influência das vigotas transversinas em lajes unidirecionais aumentando assim uma das suas dimensões para 5,20 metros. A Tabela 3 mostra o deslocamento máximo quando ocorre a variação das vigotas transversinas.

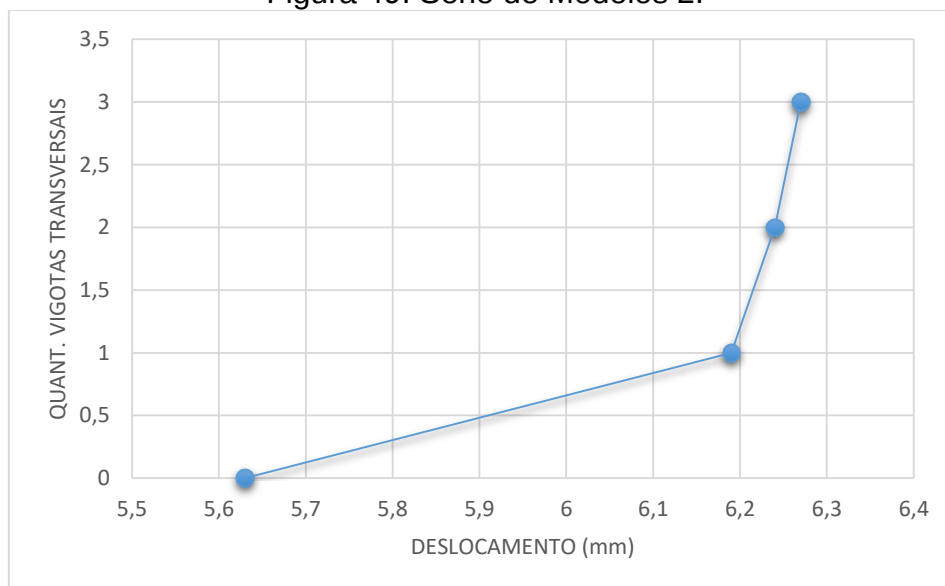
Tabela 3: Modelo de Referência 2.

Quantidade de Vigotas Transversais	Deslocamentos (mm)
0	5,63
1	6,19
2	6,24
3	6,27

Fonte: Autor, 2020.

Deste modo, foi possível traçar um gráfico em que os eixos das coordenadas retrata a quantidade de vigotas transversinas e o eixo das abscissas se referem aos deslocamentos obtidos como ilustra a Figura 49.

Figura 49: Série de Modelos 2.



Fonte: Autor, 2020.

Por meio de uma análise do gráfico à medida que aumenta-se a quantidade de vigotas transversais o deslocamento também cresce sendo grandezas proporcionais. Um dos motivos de ocorrência é devido ao aumento do peso próprio da estrutura quando se cresce a quantidade de vigotas transversina visto que ocorre um aumento no vão da laje.

Para o modelo de referência 2 foi verificado também a influência das vigotas transversinas em lajes unidirecionais aumentando assim uma das suas dimensões para 5,20 metros. A Tabela 4 mostra o deslocamento máximo quando ocorre a variação das vigotas transversinas.

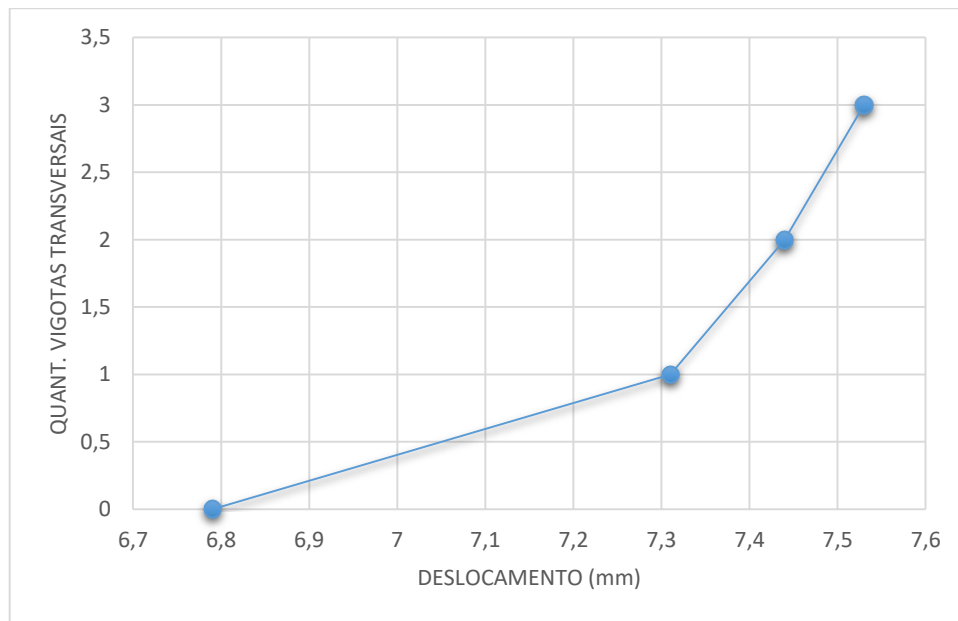
Tabela 4: Modelo de Referência 3.

Quantidade de Vigotas Transversais	Deslocamento (mm)
0	6,79
1	7,31
2	7,44
3	7,53

Fonte: Autor, 2020.

Através da tabela foi possível desenvolver um gráfico onde os eixos das ordenadas dispõem-se da quantidade de vigotas transversinas e no eixo das abscissas se encontra os deslocamentos máximo adquiridos como ilustra o Figura 50.

Figura 50: Série de Modelos 3.



Fonte: Autor, 2020.

Com a análise do gráfico observou que ao aumentar a quantidade de vigotas transversais o deslocamento também se propagava. Esse aumento no deslocamento pode dar-se devido ao aumento do peso próprio da estrutura ao carregar-se com as vigotas transversinas.

5. CONCLUSÃO

Por meio desse trabalho observou-se os deslocamentos máximos de três tipologias de lajes treliçadas distintas variando a quantidade de vigotas transversais entre elas. Pôde-se observar que o uso de vigotas transversais para lajes treliçadas à medida que foi aumentado a quantidade de vigotas o deslocamento aumenta, pois as mesmas acrescentam o peso próprio à estrutura carregando-a ainda mais.

Assim, o uso das vigotas transversinas são mais vistas em lajes que possuem carregamentos permanentes como parede de alvenaria, pois as nervuras diminuem os carregamentos relativos das vigotas, visto que as mesmas tem como função aumentar a rigidez da estrutura e distribuir melhor as forças solicitantes para o restante dos elementos estruturais. Com isso, uma perspectiva para trabalhos futuros é adicionar um maior número de carregamentos permanentes e visualizar os deslocamentos.

Outra questão a ser abordada em trabalhos futuros é considerar aos modelos a não linearidade física para que os deslocamentos sejam avaliados da melhor maneira possível. Ou seja, considerar a mudança das propriedades com o surgimento das fissurações e flechas diferidas no tempo devido a fluência do material.

Pode-se também modificar a altura das vigotas treliçadas e verificar as deformações, ou seja, aproveitar a principal vantagem da laje treliçada que é a redução do concreto aumentando somente a altura da treliça da vigota.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto – Procedimento. Rio de Janeiro, 2014.

ABNT NBR 6120: Cargas para o cálculo de estruturas de edificações. Rio de Janeiro, 2019.

ABNT NBR 14859-1: Laje pré-fabricada - Requisitos Parte 1: Lajes unidirecionais. Rio de Janeiro, 2002.

ABNT NBR 14859-2: Laje pré-fabricada - Requisitos Parte 2: Lajes bidirecionais. Rio de Janeiro, 2002.

ALMEIDA, Sandra Freire de; NÓBREGA, Petrus Gorgônio B. da; HANAI, João Bento de. Critérios de Vibração para Estruturas de Piso de Concreto Pré-moldado. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA-PROJETO-PRODUÇÃO EM CONCRETO PRÉ-MOLDADO, 1, 2005, São Carlos. **Anais.** São Carlos: Universidade de São Carlos, 2005. p. 1 - 12.

ALMEIDA, Sandra Freire de. **ANÁLISE DINÂMICA EXPERIMENTAL DA RIGIDEZ DE ELEMENTOS DE CONCRETO SUBMETIDO À DANIFICAÇÃO PROGRESSIVA ATÉ A RUPTURA.** 2005. 193 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Estruturas, Universidade de São Carlos, São Carlos, 2005.

AVILLA JUNIOR, Jovair. **CONTRIBUIÇÃO AO PROJETO E EXECUÇÃO DE LAJES LISAS NERVURADAS PRÉ-FABRICADAS COM VIGOTAS TRELIÇADAS.** 2009. 204 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Estruturas, Universidade de São Carlos, São Carlos, 2009.

BRANSON, D. E. (1968). Design procedures for computing deflections. Journal of American Concrete Institute. v.65, n.9, p.730-42.

BUIATE, Marcelo; LIMA, Maria Cristina Vidigal de. **Análise do comportamento de lajes nervuradas formadas por vigotas treliçadas e sua interação com as vigas de borda.** In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA-PROJETO-PRODUÇÃO EM CONCRETO PRÉ-MOLDADO, 1, 2005, São Carlos. **ARTIGO.**

CARVALHO, Roberto Chust. **Análise não-linear de pavimentos de edifícios de concreto através da analogia de grelhas.** 1994. 218 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia de Estruturas, Universidade de São Carlos, São Carlos, 1944.

CARVALHO, Roberto Chust et al. Estado da Arte do Cálculo das Lajes Pré-fabricadas com Vigotas de Concreto. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA-PROJETO-PRODUÇÃO EM CONCRETO PRÉ-MOLDADO, 1, 2005, São Carlos. **ARTIGO.**

CARVALHO, Roberto Chust et al. **ESCOLHA DA ALTURA DE LAJES COM NERVURAS PRÉ-MOLDADAS PARA PAVIMENTOS DE EDIFICAÇÕES CONSIDERANDO AS VERIFICAÇÕES DO ESTADO LIMITE ÚLTIMO E DE DEFORMAÇÃO EXCESSIVA.** In: JORNADAS SUDAMERICANAS DE INGENIERIA ESTRUCTURAL, Não use números Romanos ou letras, use somente números Arábicos, 2000, Uruguay. **Anais.** Uruguay: Uruguay, 2000. p. 6 - 19.

CUNHA, Mateus Ortigosa. **RECOMENDAÇÕES PARA PROJETO DE LAJES FORMADAS POR VIGOTAS COM ARMAÇÃO TRELIÇADA.** 2012. 145. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Estruturas, Universidade de São Carlos, São Carlos, 2012. Cap. 2.

DEDS, Mounir Khalil El. **Concreto pré-moldado fundamentos e aplicações.** 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2017.

DROPPA JÚNIOR, Alonso. **ANÁLISE ESTRUTURAL DE LAJES FORMADAS POR ELEMENTOS PRÉ-MOLDADOS TIPO VIGOTA COM ARMAÇÃO TRELIÇADA.** 1999. 193 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Estruturas, Universidade de São Carlos, São Carlos, 1999.

Mast, Robert F. **Vibration of Precast Prestressed Concrete Floors.** *Pci Journal.* Washington, p. 76-86. nov. 2001.

MEDRANO, Mário Luiz de Oliveira; FIGUEIREDO FILHO, Jasson Rodrigues de; CARVALHO, Roberto Chust. **Estudo de Pavimentos de Lajes Formados por Vigotas Pré-Moldadas: Influência de Nervuras Transversais.** In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA-PROJETO-PRODUÇÃO EM CONCRETO PRÉ-MOLDADO, 1, 2005, São Carlos. **ARTIGO.**

MEDRANO, M. L. O.; FIGUEIREDO FILHO, J.R.; (2006) **Estudo de pavimentos de lajes com vigotas pré-moldadas: influência de nervuras transversais na distribuição do carregamento nas vigas de contorno.** Anais do 48º Congresso Brasileiro do Concreto. Rio de Janeiro, RJ.

MERLIN, Andrei José. **ANÁLISE PROBABILÍSTICA DO COMPORTAMENTO AO LONGO DO TEMPO DE ELEMENTOS PARCIALMENTE PRÉ-MOLDADOS COM ÊNFASE EM FLECHAS DE LAJES COM ARMAÇÃO TRELIÇADA.** 2006. 320 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia de Estruturas, Universidade de São Carlos, São Carlos, 2006.

SACRAMENTO, P. V. P.; PICANÇO, M. S.; OLIVEIRA, D. R. C. Lajes nervuradas de concreto armado com viga-faixa. **Revista Ibracon de Estruturas e Materiais,** Amapá, v. 11, n. 0, p.966-996, 5 out. 2018.

SARTORTI, A. L.; FONTES, A. C.; PINHEIRO, L. M. Análise da fase de montagem de lajes treliçadas. **Revista Ibracon de Estruturas e Materiais,** São Paulo, v. 6, n. 0, p.623-660, 4 out. 2013.

SOUZA, S. S. M.; OLIVEIRA, D. R. C. **Lajes lisas nervuradas de concreto armado ao cisalhamento.** *Revista Ibracon de Estruturas e Materiais*, Belem, v. 4, p.610-641, 04 out. 2011.

SILVA, Marcos Alberto Ferreira da. **PROJETO E CONSTRUÇÃO DE LAJES NERVURADAS DE CONCRETO ARMADO.** 2005. 242 f. Dissertação (Mestrado) – Curso de Engenharia Civil, Engenharia Civil, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2005. Cap. 7.

SILVA, Bernard Rigão da. **CONTRIBUIÇÕES À ANÁLISE ESTRUTURAL DE LAJES PRÉ-FABRICADAS COM VIGOTAS TRELIÇADAS.** 2012. 150 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2012.